

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

12 Off nlegungsschrift

10 DE 41 06 151 A 1

21 Aktenz ichen: P 41 06 151.9
22 Anmeldetag: 27. 2. 91
43 Offenlegungstag: 7. 11. 91

51 Int. Cl. 5:
B 23 K 26/06

B 44 F 1/02
B 44 C 1/22
G 04 B 37/22
G 04 B 19/10
G 04 B 19/04
H 01 S 3/117

DE 41 06 151 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31

02.05.90 JP 2-46967 03.08.90 JP 2-82827
03.08.90 JP 2-82828 03.08.90 JP 2-206980
03.08.90 JP 2-206981

71 Anmelder:

Osaka Fuji Kogyo Co. Ltd., Amagasaki, JP

74 Vertreter:

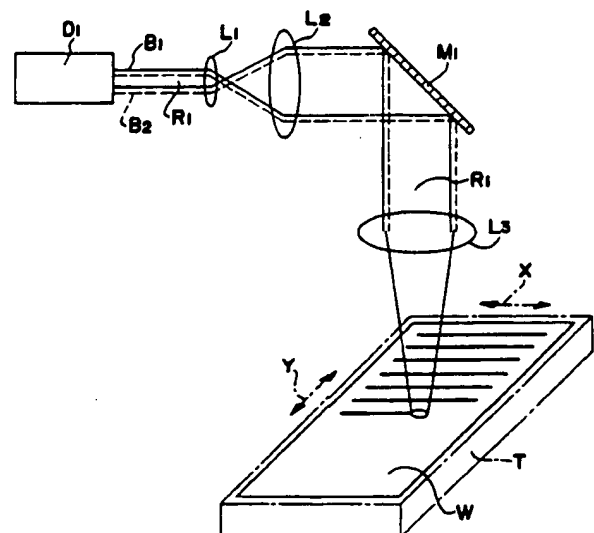
Eitle, W., Dipl.-Ing.; Hoffmann, K., Dipl.-Ing.
Dr.rer.nat.; Lehn, W., Dipl.-Ing.; Fuchsle, K.,
Dipl.-Ing.; Hansen, B., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Brauns, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Görg, K.,
Dipl.-Ing.; Kohlmann, K., Dipl.-Ing.; Ritter und Edler
von Fischern, B., Dipl.-Ing.; Kolb, H., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte; Nette, A., Rechtsanw., 8000
München

72 Erfinder:

Nagata, Itsuo, Minou, Osaka, JP; Miyamoto, Hiroki,
Nara, JP; Moriwaki, Kosuke, Sakai, Osaka, JP;
Oshima, Ichiro; Oshima, Tokihiko; Hirata,
Shigekazu; Okano, Yoshikazu, Amagasaki, Hyogo,
JP

54 Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung metallischer Oberflächen durch Laserstrahlen

57 Die Erfindung betrifft ein Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen zur Durchführung in einem Gerät, das folgende Komponenten aufweist: einen Lasersonator (D1); einem Strahlversetzungsmittel, das einen Teil (B2) des vom Resonator ausgestrahlten Laserstrahls seitlich versetzt und in einen Strahl umwandelt, bei dem sich die ursprüngliche Strahlkomponente (B1) und die versetzte Strahlkomponente (B2) einander durch Interferenz im optischen Pfad des Laserstrahls überlappen; Strahlbündelungsmittel (L2, L3), welche den Strahl auf die Metalloberfläche des Werkstückes (W) durch Bündeln des Strahls auftreffen lassen; und Bestrahlungspositionsverschiebungsmittel (T), welche die Bestrahlungsposition des Strahls relativ in XY-Richtung verschieben.



DE 41 06 151 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Erzeugung dicht verteilter feiner Unregelmäßigkeiten auf Metalloberflächen durch Laserstrahlen. Die Erfindung kann beispielsweise zur Schaffung eines schönen und reflektierenden Glanzes in Form schillernder Muster, etc., auf der gesamten oder anteiligen Oberfläche metallischer Ausstattungsgegenstände, wie etwa einer Uhr, metallischer Haushaltselektrogeräte, metallischer Industrieerzeugnisse und anderer verschiedenartiger Metallerzeugnisse, etc., verwendet werden.

Ein Laserstrahl besteht aus kohärentem Licht gleichphasiger fester Wellenlänge und ausgezeichneter Richtfähigkeit. Da ein Laserstrahl durch eine Linse zur Konzentration einer großen Energiemenge in einem feinen Punkt gebündelt werden kann, wird er in den letzten Jahren für Zwecke wie Schneiden von Metallen, Perforieren (Bohren), Schweißen, usw., verwendet. Konventionelle Metallbearbeitungsverfahren mit Laserstrahlen basieren sämtlich auf der Ausnutzung einer hohen Temperatur im Brennpunkt der Verfahrenskondensorlinse, die das innerhalb des Punktdurchmessers des Strahls in der Brennpunktstrahlung befindliche Metall augenblicklich zum Schmelzen bringt und verdampft.

Aber selbst dann, wenn ein Laserstrahl von einem Laseroszillator als perfekt paralleles Licht ausgesandt wird, liegt der durch den Kondensor konvergierbare kleinste Lichtpunktdurchmesser noch bei einigen μm bis 10 μm , weil sich der Strahl durch Beugung spreizt, und weil es weiter eine Begrenzung der Genauigkeit des optischen Systems gibt, das den optischen Pfad bildet. Zudem ist es extrem schwierig, den Durchmesser auf die Größenordnung der Wellenlänge des Laserstrahls zu reduzieren. Daher war es bisher unmöglich, mit Hilfe der konventionellen Laserbearbeitungsverfahren des Standes der Technik auf metallischen Oberflächen feine Unregelmäßigkeiten mit einer Tiefe von nicht mehr als 1 μm zu erzeugen.

Nun ist die Nachfrage nach Produkten aus rostfreiem Stahl auf verschiedenen Gebieten gestiegen, weil rostfreier Stahl Vorteile wie etwa Rostfreiheit, mechanische Festigkeit, Solidität, etc., bietet. Da aber die Oberfläche von rostfreien Stahlprodukten nur Metallfarbe besitzt und ein Gefühl von Kälte auslöst, sind in den vergangenen Jahren Anstrengungen unternommen worden, die Oberfläche mit verschiedenen Mustern zu versehen, und zwar durch Färben der Metalloberfläche bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung eines gewissen ursprünglichen Metallglanzes. Eine typische Technik für derartige Färbungsverfahren besteht beispielsweise darin, die Oberfläche des rostfreien Materials mit einem bestimmten Kunstharz zu maskieren, die Maske dann durch einen Laserstrahl in Form zahlreicher Streifen zu beseitigen, und nach dem chemischen Färben der von den Maskenstreifen befreiten Fläche, durch Eintauchen in eine Farblösung, die Reste der Maske von der bearbeiteten Metalloberfläche zu entfernen.

Das erwähnte Färbungsverfahren des Standes der Technik erzeugt auf dem behandelten Teil indes nur eine gewisse Farbtönung, kann daher nicht für die Vielfachfärbung eingesetzt werden, welche Farbvariationen erzeugt, die sich je nach dem Beobachtungswinkel verändern, d. h., nicht für die Vielfarbenbehandlung, die beispielsweise durch Regenbogenfarben oder schillernde Farben gekennzeichnet ist. Darüber hinaus ist die Behandlung gemäß dem Stande der Technik recht kostspielig, denn sie erfordert eine ganze Anzahl von Behandlungsschritten und nimmt daher für das Färben viel Zeit und Arbeitsaufwand in Anspruch.

Bei dieser Sachlage haben die Erfinder eine ganze Reihe von Untersuchungen bezüglich der Techniken durchgeführt, welche die Farbe metallischer Oberflächen auf verschiedene Weise, je nach Beobachtungswinkel oder Einfallsrichtung des äußeren Lichtes verändern, womit diese ein Muster für entweder die gesamte, oder einen Teil der Oberfläche verschiedener Metalle, wie etwa rostfreien Stahl, etc., liefern. Als Ergebnis der Untersuchungen hat sich herausgestellt, daß wenn feine Unregelmäßigkeiten in der Größenordnung von 1 μm oder weniger nahe am Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes auf einer Metalloberfläche erzeugt werden, diese unregelmäßige Oberfläche das einfallende Licht spektral in der gleichen Weise reflektiert wie ein Beugungsgitter, so daß ein farbnancenreicher reflektierender Glanz von Regenbogenfarben erzeugt wird. Derartige feine Unregelmäßigkeiten können durch einen Laserstrahl bei Anwendung der konventionellen Metallbearbeitungstechniken kaum hergestellt werden. Selbst wenn der Durchmesser des Brennpunktes durch einen oder mehrere Behandlungskondensoren ausreichend verkleinert wird, würde das Verfahren zur Bildung der Unregelmäßigkeiten enorm viel Zeit in Anspruch nehmen und praktisch kaum durchführbar sein, weil die individuellen Unregelmäßigkeiten einzeln nacheinander erzeugt werden müßten.

In Anbetracht dieser Probleme bietet die vorliegende Erfindung in erster Linie ein epochemachendes Verfahren der Laserbehandlung, mit dem auf einfache Weise und in kurzer Zeit dichte und feine Unregelmäßigkeiten auf metallischen Oberflächen hergestellt werden können, wobei sich das Verfahren vollständig vom herkömmlichen Verfahren der Metallbearbeitung durch Laserstrahl unterscheidet. Die Erfindung betrifft außerdem ein Gerät zur Durchführung des Verfahrens.

Das zweite Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in der Verwendung eines Laserstrahls als kohärentes Licht in der nachfolgend beschriebenen Weise.

Wie allgemein bekannt ist, besteht ein Laserstrahl aus völlig total kohärentem Licht. Wenn daher ein Teil des Lichtes waagrecht, und dabei senkrechte zur Richtung der optischen Achse versetzt, in einen Strahl umgeformt wird, bei dem die ursprüngliche Strahlenkomponente und die versetzte Strahlenkomponente in einander überlappen, zeigt der Überlappungsbereich der beiden Strahlen ein Muster aus hellen und dunklen Interferenzstreifen, die der Verteilung der Phaseninklination der Versetzung auf der Strahlungsfläche des Strahls entsprechen. Wird nun der aus den beiden Komponenten bestehende überlappende Strahl durch einen Kondensor bzw. einen konkaven Spiegel, etc., gebündelt und auf die Oberfläche eines Metalls an einer Stelle gerichtet, die vorzugsweise entweder zur tieferen Seite oder zur flacheren Seite des Brennpunktes versetzt ist, werden auf der Metalloberfläche eine dichte Unregelmäßigkeit erzeugt, die der Intensitätsverteilung des Interferenzstreifenmusters entsprechen, das heißt, hell im konkaven Teil und dunkel im konvexen Teil des Interferenzmusters sind, und zwar

dann, wenn der hell Teil des Interferenzstreifenmusters eine ausreichende Energiedichte zum Schmelzen und Verdampfen des Metalls besitzt.

Das Interferenzstreifenmuster im beleuchteten Punkt besteht aus einigen hundert feinen hellen und dunklen Streifen, deren gegenseitige Abstände um höchstens ungefähr $1\text{ }\mu\text{m}$ vom Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes liegen. Darum wird mit einem Male eine große Anzahl unregelmäßiger Streifen (bei einem YAG-Laserbehandlungsgerät mittlerer Leistung sind es ungefähr 300 konkave Streifen) auf der metallischen Oberfläche bei einem einmaligen Überstreichen erzeugt, wobei die beleuchtete Stelle entlang der metallischen Oberfläche entweder in X-Richtung oder Y-Richtung bewegt wird. Die so durch Wiederholen des genannten Überstreichens bearbeitete Metalloberfläche weist eine hohe Dichte feiner Unregelmäßigkeiten auf und wirkt in der gleichen Weise wie ein Beugungsgitter, welches das einfallende Licht spektral reflektiert und dabei einen farbnuancenreichen reflektierenden Glanz mehrfach wiederholter Regenbogenfarben erzeugt.

Demgegenüber erzeugt das konventionelle Metallbearbeitungsverfahren durch Laserstrahl beim Überstreichen der Metalloberfläche nur eine einzige Rille, so daß die Fläche mehrere hundertmal überstrichen werden muß, um den gleichen reflektierenden Glanz wie denjenigen des Verfahrens der vorliegenden Erfindung zu erzeugen. Es benötigt also enorm viel Zeit, selbst wenn der Durchmesser des Brennpunktes der Linse auf etwa $1\text{ }\mu\text{m}$ reduziert werden könnte.

Bei der vorliegenden Erfindung variiert die Intensität des kohärenten Lichtes, die zur Bildung von Unregelmäßigkeiten entsprechend dem Interferenzmuster des kohärenten Lichtes auf der metallischen Oberfläche benötigt wird, je nach der Metallart und der Bestrahlungszeit pro Einheitsfläche (Länge). Daher können die Verfahrensbedingungen, wie etwa die Ausgangsleistung der Laserlichtquelle, der Grad der Bündelung des Laserstrahls durch die Konvergenzmittel, etc., nach den Erfordernissen eingestellt werden.

Der Betrag der die Interferenzstreifen bildenden seitlichen Versetzung ist immer dann richtig, wenn er nicht das 0,5-fache der Wellenlänge λ beträgt ($n =$ eine ganze Zahl), und wenn die Richtung der Interferenzstreifen, d. h. der Rillen I, senkrecht zur Richtung der seitlichen Versetzung der versetzten Strahlenkomponente B_2 zur ursprünglichen Strahlenkomponente B_1 verläuft, wie die Fig. 5A, B zeigen.

Da sich weiter der Abstand der Interferenzstreifen mit der Größe der seitlichen Versetzung ändert, kann der Abstand zwischen den Rillen I mit der Wahl der Größe dieser Versetzung wunschgemäß eingestellt werden.

Es gibt zwei Methoden zur Erzeugung der seitlichen Versetzung des Laserstrahls: eine erste Versetzungsmethode die darin besteht, das Strahlversetzungsmittel in einen Laserresonator zur Erzeugung einer seitlichen Versetzung im Resonator einzubauen; und eine zweite Versetzungsmethode die darin besteht, den von einem Resonator ausgesandten Laserstrahl seitlich durch Strahlversetzungsmittel zu verschieben, die im Resonator angeordnet sind.

Die in bezug auf die erste Versetzungsmethode in der Praxis konventionell am meisten angewandte Technik, die hier nicht näher im Detail dargestellt wird, besteht in der Verwendung eines Q-Schaltelementes, das in den Resonator eines Festkörperlaser zur Erzeugung schwingender Q-Schalterimpulse eingebaut ist. Dabei besteht ein Q-Schaltelement QS aus einem elastischen Körper S rechteckiger Form aus geschmolzenem Quarz, der mit einem Vibrator TD versehen ist (Wandler zum Austausch von Elektrizität und Schall), der an einem Ende des Körpers befestigt ist und am entgegengesetzten Ende einen Ultraschallabsorber AS trägt. Wird durch eine Hochfrequenzsignalquelle RF ein Hochfrequenzsignal an den Vibrator TD angelegt, erzeugt der Vibrator TD Dickenvibrationen, die den elastischen Körper als Longitudinalwellen (Druckwellen) der Ultraschallwellen unter Bildung eines Phasengitters G durchlaufen, das die gleichen Intervalllängen wie die Wellenlänge der Ultraschallwellen besitzt, die äquivalent auf periodischen Änderungen des Brechungsindex infolge der Photoelastizität innerhalb des elastischen Körpers S beruhen.

Da nun das Q-Schaltelement QS zwischen die reflektierenden Spiegel Ma und Mb zu beiden Seiten des Laserresonators angebracht sind, wie Fig. 5 zeigt, derart, daß die Resonanzachse einen Winkel mit der Wellenfläche der Ultraschallwellen bildet, der die Bragg'schen Bedingungen erfüllt, unterliegt der auf den elastischen Körper S einfallende Laserstrahl einer Beugungsstreuung durch ein Kristallgitter, wie bei der Bragg'schen Reflexion, wobei die Laserschwingung durch Anlegen des Hochfrequenzsignals unterdrückt wird. Durch kontinuierliche Anregung während dieser Periode baut sich im Lasermedium RM eine große Besetzungsinversion auf. Wird dann das Anlegen der Ultraschallsignale momentan gestoppt (auf Null reduziert), wird die so angesammelte Energie urplötzlich frei und es entsteht in sehr kurzer Zeit eine Laserschwingung, die einen Impulsstrahl hoher Energiedichte liefert, das heißt, einen Q-Schalter-Impulsstrahl. Fig. 4A veranschaulicht die Beziehung zwischen dem Hochfrequenzsignal, dem Q-Wert des Laserresonators und der Laserschwingungsausgabe in bezug auf die Zeit, die bei dieser allgemeinen Q-Schalter-Impulsschwingung besteht.

Um das genannte Q-Schaltelement QS beim Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zu verwenden, muß lediglich das Hochfrequenzsignal am QS-Element mit einer Stärke angelegt bleiben, welche die Schwingung nicht abbricht ohne sie auf Null zu reduzieren, selbst im Verlaufe der Laserschwingung nicht, wie Fig. B zeigt. Wenn nämlich, wie oben erwähnt, während der Laserschwingung ein schwaches Hochfrequenzsignal RF_2 an das Q-Schaltelement QS angelegt wird, bleibt im elastischen Körper S ein schwaches Phasengitter G bestehen; und ein Teil des übertragenen Laserstrahls wird unter dem Einfluß des Phasengitters G versetzt, derart, daß ein Strahl R_1 , bei dem die ursprüngliche Strahlkomponente von der versetzten Strahlkomponente überdeckt wird, vom Resonator D_1 ausgesandt werden kann. Die Größe der seitlichen Versetzung kann durch Änderung der Frequenz des anzulegenden Hochfrequenzsignals nach Wunsch gewählt werden. In einem solchen Falle werden sowohl der Q-Wert, als auch die Laserschwingungsausgabe P leicht abfallen, wie aus den Fig. 4A, B hervorgeht; aber dies stellt überhaupt kein Hindernis für die Metalloberflächenbearbeitung gemäß der vorliegenden Erfindung dar.

In diesem Zusammenhang sei bemerkt, daß die Stärke des während der Laserschwingung beizubehaltenden Hochfrequenzsignals RF_2 verhältnismäßig bei 10 bis 15% der Stärke des Hochfrequenzsignals RF_1 gehalten

werden sollte, welches zur Unterdrückung der Laserschwingung angelegt werden muß.

Als Mittel zur Versetzung des Laserstrahls gemäß der ersten Versetzungsmethode können verschiedene Maßnahmen angewandt werden, wie etwa die Verwendung eines Doppelbrechungsprismas, eines reflektierenden Spiegels mit einer inhärenten Seitenversetzungsfunktion für den Resonator, etc., und zwar zusätzlich zu der genannten Verwendung eines Q-Schaltelementes QS.

Was die zweite Versetzungsmethode anbetrifft, können folgende Mittel angewandt werden: ein Mittel, das ein Element gleicher Konstruktion wie das des Q-Schalter-Ultraschallelementes besitzt (vgl. Fig. 7); ein Mittel, das einen Zweiseiten-Reflexionsspiegel mit einer partiell reflektierenden Ebene auf der Oberfläche und einer total reflektierenden Ebene auf der Rückseite benutzt (vgl. Fig. 8); und ein Mittel, das einen teildurchlässigen Spiegel sowie einen nahe zu diesem und parallel dazu angeordneten total reflektierenden Spiegel besitzt (vgl. Fig. 9); wobei es sich um Mittel handelt, die im Aufbau einfach sind, eine leichte Steuerung der Strahlversetzung ermöglichen und außerhalb des Laserresonators vorzusehen sind, wobei es bezüglich dieser Mittel keine besonderen Beschränkungen gibt.

Was nämlich das erste genannte Mittel anbetrifft, das ein Element gleicher Konstruktion wie jene des genannten Q-Schalter-Ultraschallelementes besitzt, muß das genannte Element im optischen Pfad des vom Laserresonator ausgesandten Laserstrahls lediglich so plaziert werden, daß der Strahl auf die Oberfläche des Elementes unter einem Winkel auftrifft, der die Bragg'schen Bedingungen erfüllt; und weiter muß während der Laserschwingung an das Element ein schwaches Hochfrequenzsignal in derselben Weise angelegt werden, wie oben beschrieben wurde. Die Stärke dieses angelegten Signals ist ungefähr die gleiche wie die Anlegestärke während der Laserschwingung in dem in den Laserresonator einzubauenden Q-Schalter. Bei dieser Anlegestärke wird ein Teil des Laserstrahls, der durch das Element des im elastischen Körper des Elementes gebildeten schwachen Phasengitters übertragen wird, seitlich versetzt und vom Element als kohärentes Licht ausgesandt, das von der ursprünglichen Strahlkomponente überdeckt wird.

Bei den letzten Mitteln, die einen doppelt reflektierenden Spiegel sowie einen teildurchlässigen Spiegel und einen total reflektierenden Spiegel verwenden, erzeugt die Strahlkomponente der Teilreflexion eine seitliche Versetzung gegen die Strahlkomponente der Totalreflexion, und zwar aufgrund des optischen Pfadunterschiedes. Daher wird der reflektierende Strahl zu kohärentem Licht, in welchem sich beide Strahlkomponenten überlappen, falls der optische Pfadunterschied kleiner als der ursprüngliche Strahldurchmesser eingestellt ist.

Wenn ein Teil des Laserstrahls seitlich versetzt ist, wie das beim Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung der Fall ist, nimmt die Energiedichte des Strahls ab, wie aus dem Vergleich zwischen den Fig. 4A und B hervorgeht. Da jedoch ein derartiger Abfall der Energiedichte ein Vorgang ist, der im Hinblick auf den ursprünglichen Zweck der Laserbearbeitung möglichst vermieden werden muß, gibt es bisher keinen Fall, bei dem ein Strahlversetzungsmittel wie dasjenige der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

Übrigens sind die feinen Unregelmäßigkeiten, die dem durch das Verfahren gemäß der Erfindung gebildeten Interferenzstreifen des Laserstrahls entsprechen, so subtil, daß die Sichtbarkeit der gebildeten feinen Unregelmäßigkeiten vom mikroskopischen Oberflächenzustand der Metalloberfläche beeinflusst wird, auf die das kohärente Laserlicht fällt.

Das dritte Ziel der vorliegenden Erfindung ist demgemäß die Schaffung eines Mittels zur Herstellung eines bearbeiteten Artikels, der echte Regenbogenfarben zeigt, wodurch der Ausbeutegrad der ornamentalen Verarbeitung sowie die Dekorationsqualität verbessert werden. Das Mittel zur Erreichung dieses Ziels besteht in der Schaffung einer Metalloberfläche mit Spiegelflächenglanz durch elektrolytisches Polieren und durch Bestrahlen mit kohärentem Laserlicht der Fläche des Spiegels, wie oben erwähnt wurde, um feine Unregelmäßigkeiten entsprechend der Intensitätsverteilung der Interferenzstreifen zu erzeugen.

Es gibt verschiedene Arten mechanischer und chemischer Poliermethoden, beispielsweise das Polieren durch Läppen, um eine Metalloberfläche mit einem Spiegelflächenglanz zu versehen. Nun ist aber die für die Erzeugung von Regenbogenfarben guter Qualität gemäß der vorliegenden Erfindung erforderliche Spiegelfläche keine Ebene mit leichten Oberflächenunregelmäßigkeiten, die als sogenannte Oberflächenrauigkeit definiert werden können, sondern eine Ebene ohne scharfe Erhebungen und Vertiefungen, auch wenn der Grad der Unregelmäßigkeiten nicht klein ist. Aus diesem Grunde ist das vorerwähnte elektrolytische Polieren wünschenswert. Beim elektrolytischen Polieren flacht sich die Metalloberfläche durch elektrische Schmelzen ab, da mit Beginn der Elektrolyse ein viskoser Polierfilm gebildet wird, um konkave Bereiche zu schützen. Der elektrische Strom konzentriert sich auf die konkaven Bereiche und fördert darin die Elution, wodurch eine glatte Oberfläche ohne Schärpen erzeugt wird, selbst wenn einige große Wellenzüge stehen bleiben mögen.

Auch wenn es einige große Wellenzüge auf der Oberfläche gibt, wie oben erwähnt, werden feine Unregelmäßigkeiten entsprechend den Interferenzstreifen getreu entlang der Wellenzüge gebildet, wenn der Laserinterferenzstrahl auftrifft. Auf einer Oberfläche mit feinen und scharfen Wellenzügen, wie sie mit anderen Poliermitteln erhalten werden, insbesondere durch mechanisches Polieren, verlieren jedoch die feinen Unregelmäßigkeiten ihre Klarheit durch den Einfluß der Wellenbildung. Durch chemisches Polieren wird eine Spiegelfläche erhalten, die derjenigen entspricht, die durch elektrolytisches Polieren erzielt wird. Die Probleme bei dieser Methode liegen jedoch darin, daß vor der Bearbeitung ein Vorpolieren erforderlich ist und daß sehr teure Chemikalien benutzt werden müssen.

Soll durch gewöhnliche Lasergravur ein Bild auf einer Metalloberfläche entsprechend den Produktspezifikationen in Verbindung mit den genannten feinen Unregelmäßigkeiten zur Erzeugung von Regenbogenfarben geschaffen werden, ist es besser, das Bild vor dem elektrolytischen Polieren aufzuzeichnen. Denn obwohl allgemein ein Oxidfilm um die bearbeiteten Rillen der Gravur gebildet wird, der, wenn weiter nichts geschieht, eine bräunliche Farbe auf rostfreiem Stahl, etc., annimmt, welcher die Schönheit des Untergrundes und die Lebendigkeit der Regenbogenfarben verdirbt, ist das oben genannte Verfahren sehr günstig, weil ein derartiger Film durch das elektrolytische Polieren entfernt werden kann.

Wi aus der obigen Erläuterung hervorgeht, ist das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung für die charakteristischen Einsatzmöglichkeiten der Laserbearbeitung geeignet, das heißt für die Herstellung vieler unterschiedlicher Dinge in kleinen Mengen; und es kann wirkungsvoll für die ornamentale Bearbeitung einer großen Anzahl von Mustern (Bildern) eingesetzt werden. Die zu bearbeitende Oberfläche muß nicht unbedingt flach sein. Selbst eine Metalloberfläche mit Kristallorientierung und einer gewissen Unebenheit kann bearbeitet werden, ohne daß die Bearbeitung die solche Kristallorientierung oder Unebenheit beeinflußt wird. Weiter ist die Behandlung recht einfach, weil das zu behandelnde Material keiner kräftigen Halterung bedarf. Vielmehr genügt für die Bearbeitung ein Anheften, da es sich um eine berührungslose Bearbeitung handelt.

Die Metallerzeugnisse, bei denen die ornamentale Bearbeitung durch das Verfahren gemäß der Erfindung angewandt werden kann, sind sehr verschiedener Art und umfassen Ornamentartikel, elektrische Haushaltsgeräte, gewerbliche Erzeugnisse, etc., wie weiter oben erwähnt wurde. Es bestehen in dieser Hinsicht keine besonderen Beschränkungen. Zu den repräsentativen Artikeln, die sich ganz besonders für eine Herstellung in unterschiedlichen Ausbildungsformen und in kleinen Mengen bei voller Ausnutzung der erwähnten Vorteile der Erfindung eignen, zählen jedoch verschiedene Arten von Uhren, wie beispielsweise Armbanduhren, Taschenuhren, Tischuhren, Wanduhren, etc. Bei den Uhren ist seit alten Zeiten den ästhetischen Funktionen, wie beispielsweise der dekorativen Wirkung und dem Modestil, Priorität gegenüber der technischen Funktion der Zeitanzeige gegeben worden. Insbesondere scheinen kleine Uhren, wie etwa Armbanduhren, Taschenuhren, etc., in bezug auf das Design große Perfektion erreicht zu haben und lassen wenig Raum zur Schöpfung irgendwelcher neuen Geschmacksempfindungen durch konventionelle Dekorationsmittel, und zwar aufgrund der durch Größe und Form gegebenen Beschränkungen. Mit dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ist es jedoch möglich, Metalloberflächen mit einem reflektierenden Glanz auszustatten, dessen Tönung sich in vielfältiger Weise wie ein Regenbogen ändert, je nach dem Betrachtungswinkel oder der Richtung des einfallenden Lichtes. Daher besteht das vierte Ziel der vorliegenden Erfindung in der Schaffung von Uhren mit neuartigen Designs.

Die Teile einer Uhr, die mit Hilfe des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung verziert werden können, betreffen die Zeiger, das Zifferblatt und das Gehäuse. Die Zeiger bzw. der Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger, sind im allgemeinen mit Gold, Silber, etc., plattiert, oder in verschiedenen Farben angestrichen. Dabei besitzen die Zeiger jedoch eine unveränderliche Tönung, die sich nicht auf natürliche Weise ändert und die nur geringe Wahlmöglichkeiten hinsichtlich der Form läßt, insbesondere was kleine Uhren wie etwa Armbanduhren, etc., betrifft, und zwar wegen der Zeitanzeigefunktion. Infolgedessen spielen die Zeiger hinsichtlich der ästhetischen Funktionen einer Uhr, wie etwa dem dekorativen Effekt und der modischen Attraktivität, nur eine geringe Rolle. Was die Zifferblätter anbetrifft, werden die zur Wiedergabe des typischen Metallcharakters mit einem metallischen Glanz an der Oberfläche versehenen Zifferblätter seit altersher allgemein als Zifferblätter für kleine Uhren, wie beispielsweise Armbanduhren etc., verwendet. Die Oberfläche solcher Zifferblätter ist jedoch recht monoton, weil es die Grundfarbe entweder des Basismetalls, oder des aufgetragenen Metalls, besitzt, ein Gefühl der Kälte vermittelt, und heutzutage nicht mehr den Eindruck hoher Qualität hervorruft. Auch die Gehäuse sind in der Vergangenheit hinsichtlich der Farbe auf die Grundfarbe des aufplattierten Metalls oder des Grundmetalls beschränkt worden, und bieten im Hinblick auf die dekorative Wirkung nur leichte Variationen in der Tönung des Metallglanzes oder der Musterung durch Anhebungen oder Absenkungen der Oberfläche, wobei sie nur wenig Wahl lassen, mit Ausnahme der äußeren Form.

Im Gegensatz dazu reflektiert die Metalloberfläche mit feinen Unregelmäßigkeiten, entsprechend den durch den Laserstrahl gebildeten Interferenzstreifen gemäß dem Verfahren der vorliegenden Erfindung, das einfallende Licht spektral in gleicher Weise wie ein Beugungsgitter. Sie erzeugt dadurch einen farbenreichen reflektierenden Glanz, dessen Färbung sich in Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, etc., verwandelt, wie beim Regenbogen, wobei dennoch der Farbton dieses reflektierenden Glanzes extrem lebendig und nachhaltig ist, ohne daß er eine irritierende oder blendende Wirkung trotz der Tatsache ausübt, daß er auf dem Metallglanz beruht.

Aus diesem Grunde harmonisieren Zeiger, die aufgrund feiner Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche eine Regenbogenfarben ausstrahlende Partie besitzen, herrlich mit dem Zifferblatt, in gleicher Weise wie die Oberfläche des Zifferblattes, die ebenfalls eine durch feine Unregelmäßigkeiten wie oben erwähnt, Regenbogenfarben ausstrahlende Partie besitzt, herrlich mit den Zeigern als deren Hintergrund harmoniert. Weiter können durch Vorsehen eines ähnlich Regenbogenfarben ausstrahlenden Abschnittes auf der das Zifferblatt umgebenden Umfangsfläche des Gehäuses das Gehäuse und das Zifferblatt wunderbar harmonisch aufeinander abgestimmt werden, wodurch die Uhr mit einer einzigartigen, nie dagewesenen Designnote graziöser und unaufdringlicher Brillanz ausgestattet wird.

Wie oben beschrieben, liefert das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung durch Bilden feiner Unregelmäßigkeiten entsprechend den Interferenzstreifen des Laserstrahls Metalloberflächen mit wunderschönen Regenbogenfarben. Derzeit sind rostfreier Stahl und Ni-Cr-Legierungen die Metalle, auf denen die vorgenannten Unregelmäßigkeiten leicht und exakt mit einem üblichen Laserbearbeitungsgerät, wie etwa einem YAG-Laser, hergestellt werden können, der häufig zur Oberflächenbearbeitung von Metallen verwendet wird. Dem rostfreien Stahl und den Ni-Cr-Legierungen fehlt jedoch eigentlich die Aura hoher Qualität, wenn sie zur Herstellung verzierter Artikel benutzt werden, und zwar wegen der etwas billigen Grundfarbe, die nur streuend reflektiert, obwohl der Reflexionsglanz spektraler Regenbogenfarben außerordentlich schön ist.

Im Hinblick auf diese Faktoren besteht das fünfte Ziel der vorliegenden Erfindung darin, daß, wenn entweder rostfreier Stahl oder Ni-Cr-Legierungen als Grundmaterial für die Bearbeitung zur Erzeugung von Regenbogenfarben benutzt werden, den Metalloberflächen mit feinen Unregelmäßigkeiten zu einer ausreichenden Aura hoher Qualität des verzierten Artikels zu verhelfen ohne Beeinträchtigung der Ausdruckskraft der Regenbogenfarben, und zwar durch Anbringen eines Edelmetallfilms mit einer Dicke, welche die Unregelmäßigkeiten intakt läßt.

Wie gesagt, zeigt die mit den feinen Unregelmäßigkeiten versehene Metalloberfläche einen reflektierenden Glanz, dessen Farbtonung sich auf verschiedene Weise wie ein Regenbogen verändert, je nach dem Betrachtungswinkel oder der Richtung des einfallenden Lichtes; und sie erzeugt den herrlich reflektierenden Glanz von Regenbogenfarben auch dann, wenn ein Edelmetallfilm auf der Oberfläche angebracht ist, und zwar deshalb, weil die feinen Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche des Films erscheinen. Dennoch gibt der Farbton der streuenden Reflexion, das heißt, der Farbton der Metalloberfläche, die nicht die spektralen Regenbogenfarben erzeugt, die Grundfarbe des Edelmetalls selbst wieder, das heißt, beispielsweise die goldene Farbe im Falle von Gold, oder die charakteristische matte, schwach reflektierende, weiße Silberfarbe im Falle von Silber oder Platin, wobei gleichzeitig ein befriedigender Eindruck hoher Qualität des verzierten Gegenstandes erzeugt wird. Der Einfluß der Grundfarbe des Edelmetalls erscheint auch spektral in der Tönung des reflektierenden Glanzes der Regenbogenfarben. Beispielsweise sind alle sich ändernden Farben rot gefärbt, falls es sich bei dem Edelmetall um Gold handelt, während viele Farben mit wenig blendendem Glanz erzeugt werden, falls es sich bei dem Edelmetall um Silber oder Platin handelt, wobei in beiden Fällen mehr echte Schönheit hinzugefügt wird als die durch die Farbtonung auf der Oberfläche des rostfreien Stahls oder der Ni-Cr-Legierungen erzeugte.

Der Edelmetallfilm darf nur eine Dicke besitzen, die die auf den feinen Unregelmäßigkeiten am Boden basierenden feinen Unregelmäßigkeiten unberührt läßt oder vorzugsweise eine Stärke von 1 µm oder weniger besitzt, um besonders klare Streifen der Unregelmäßigkeiten zu belassen. Die Dicke kann soweit verringert werden, daß die Grundfarbe des rostfreien Stahls oder der Ni-Cr-Legierungen durch den Film sichtbar ist.

Als Technik zur Erzeugung des dünnen Edelmetallfilms kann ein elektrochemisches Verfahren, wie etwa das elektrolytische Plattieren, etc., zusätzlich zu dem Verfahren zur Bildung von dünnen Filmen durch Auftragen im Hochvakuum angewandt werden, wie etwa die Vakuumdampfbeschichtung, das Sputtern, das Ionenplattieren, etc., wobei die letztgenannten Methoden zur Bildung von Dünnschichten speziell unter dem Gesichtspunkt der Gleichmäßigkeit der Dünnschichten geeignet sind. Auch sind Gold, Silber und Platin als Edelmetalle ideale Werkstoffe zur Bildung der dünnen Filme.

Weiter können die feinen Unregelmäßigkeitsrillen, die gemäß der vorliegenden Erfindung auf den Metalloberflächen erzeugt werden, auf Harzoberflächen gedruckt werden, beispielsweise durch thermisches Bedrucken. Weiter können dekorative Folien zur Verwendung als Packpapier, etc. leicht durch Vorsehen einer Nachbehandlung, wie etwa der Niederschlagung von Aluminiumdampf, etc., auf der Oberfläche des bedruckten Harzfilmes hergestellt werden.

Ein zusätzliches Ziel der vorliegenden Erfindung besteht dementsprechend in der Verwendung der Erfindung als Transfertechnologie für derartige Muster.

Nachfolgend wird der wesentliche Gegenstand der beigefügten Zeichnungen kurz beschrieben.

Fig. 1 stellt schematisch den Aufbau des Laserbearbeitungssystems des Beispiels 1 der vorliegenden Erfindung dar;

Fig. 2 stellt schematisch den Aufbau des bei dem vorgenannten System verwendeten Laserresonators dar;

Fig. 3 stellt eine perspektivische Ansicht zur Wiedergabe eines Beispiels des Q-Schalter-Ultraschallelementes zum Einbau in den genannten Resonator dar;

Fig. 4A stellt ein Korrelationsdiagramm in bezug auf das Hochfrequenzsignal — den Q-Wert des Laserresonators — die Laserschwingungsausgabe — und die Zeit bei einer konventionellen Betriebsvorrichtung mit einem Q-Schalter-Ultraschallelement dar;

Fig. 4B stellt ebenfalls ein dem vorbezeichneten Diagramm entsprechendes Korrelationsdiagramm für die Betriebsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung dar;

Fig. 5A, B stellen Draufsichten auf den Strahlfleck dar, der durch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung auf eine Metalloberfläche projiziert wird;

Fig. 6 stellt ein Erläuterungsdiagramm dar, das die Veränderungen einer Laserstrahlpolarisation wiedergibt, die durch eine Platte von 1/4-Wellenlänge unterbrochen wird;

Fig. 7 bis 9 stellen schematisch den Aufbau entsprechender Laserbearbeitungsgeräte für die Beispiele 2 bis 4 dar;

Fig. 10A bis D stellen vergrößerte Schnittansichten dar, die stufenweise den Entwicklungszustand einer vor der Laserbearbeitung elektrolytisch polierten Metalloberfläche wiedergeben;

Fig. 11 stellt eine vergrößerte Schnittansicht in bezug auf den Bearbeitungszustand dar, bei dem feine Unregelmäßigkeiten durch das Laserbearbeitungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung auf der Metalloberfläche erzeugt werden, die elektrolytisch poliert wurde;

Fig. 12 stellt eine Vorderansicht des Hauptbestandteils einer Uhr dar, deren Zeiger einer ornamentalen Behandlung gemäß der vorliegenden Erfindung unterzogen wurden;

Fig. 13 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie VIII der Fig. 12 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 14 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XIV der Fig. 12 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 15 stellt eine Querschnittsansicht entlang der Linie XV-XV der Fig. 14 dar;

Fig. 16 stellt eine Vorderansicht des Zifferblattes der Uhr gemäß Beispiel 1 dar, die der ornamentalen Bearbeitung unterzogen wurde;

Fig. 17 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XVII der Fig. 16 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 18 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XVIII der Fig. 17 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 19 stellt eine Vorderansicht des Zifferblattes der Uhr des Beispiels 2 dar, die der ornamentalen Bearbeitung unterzogen wurde;

Fig. 20 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XX der Fig. 19 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 21 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XXI der Fig. 20 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 22 stellt eine Vorderansicht des Zifferblattes der Uhr des Beispiels 3 dar, die der ornamentalen Bearbeitung unterzogen wurde; 5

Fig. 23 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XXIII der Fig. 22 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 24 stellt eine Vorderansicht des Hauptbestandteils einer Uhr dar, dessen Gehäuse ornamental bearbeitet wurde; 10

Fig. 25 stellt eine vergrößerte Ansicht des durch die gedachte Linie XXV der Fig. 24 umschriebenen Abschnittes dar;

Fig. 26 stellt eine vergrößerte Schnittansicht der Umfangsseite eines weiteren Beispiels eines Gehäuses dar, das ornamental bearbeitet wurde; und

Fig. 27A und B stellen vergrößerte Schnittansichten eines Metallbleches in einem Verfahrenszustand dar, bei dem ein Edelmetallfilm auf einer Metalloberfläche aufgebracht ist, die der Laserbearbeitung gemäß der vorliegenden Erfindung unterzogen wurde. 15

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Berücksichtigung der damit im Zusammenhang stehenden Technik und unter Bezugnahme auf die in der Zeichnung veranschaulichten Beispiele beschrieben. 20

Fig. 1 stellt das Laserbearbeitungsgerät des Beispiels 1 dar, das einen Laserresonator D_1 mit einem darin untergebrachten Strahlversetzungsmittel verwendet. Bei diesem Gerät stellt der vom Resonator ausgesandte Laserstrahl R_1 kohärentes Licht dar, in welchem sich die ursprüngliche Strahlkomponente B_1 und die versetzte Strahlkomponente B_2 gegenseitig überdecken. Der Strahl R_1 wird durch die Linsen L_1 , L_2 expandiert, durch einen reflektierenden Spiegel M_1 zur Richtungsänderung in eine um 90° verschwenkte Richtung umgeleitet, durch eine Sammellinse L_3 gebündelt und auf das Werkstück W gerichtet, das auf dem XY-Tisch T plaziert ist. 25

Bei dieser Konstruktion wird die Oberfläche des Werkstückes bei der Bewegung des XY-Tisches T in Richtung X getastet bzw. überstrichen. Jedesmal wird am Ende des Überstreichens der XY-Tisch T in Richtung Y um einen Betrag bewegt, der dem Strahlfleckdurchmesser auf der bestrahlten Oberfläche entspricht. Die Bestrahlung entweder der gesamten Oberfläche des Werkstückes W oder des gesamten Bereiches der partiellen Muster, etc., durch den Laserstrahl wird durch systematisches Wiederholen der Überstreichvorgänge durchgeführt. Da der Laserstrahl R_1 eine Mischung aus den Strahlkomponenten B_1 und B_2 ist, werden im Überdeckungsbereich der Laserkomponenten B_1 und B_2 auf der Metalloberfläche bei jedem Überstreichen Interferenzstreifen erzeugt, wie in den Fig. 5A oder B dargestellt ist. Sie bestehen aus einigen hundert konkaven Streifen I , entsprechend ihren hellen Partien. Fig. 5A gibt die Interferenzstreifen für einen Fall wieder, bei dem die Versetzungsrichtung der Strahlkomponenten B_1 und B_2 quer verläuft, während Fig. 5B den Fall zeigt, bei dem die Richtung longitudinal verläuft. 30

Fig. 2 veranschaulicht ein Beispiel für den Aufbau des im Beispiel 1 benutzten Laserresonators D_1 . Dieser Resonator D_1 besteht aus einem Q-Schalter-Ultraschallelement QS , den Blenden AP , einem Festkörperlasermedium wie etwa einem Nd:YAG-Stab, der in dieser Folge, beginnend mit der strahlaussendenden Seite, zwischen dem Reflexionsspiegel Ma der strahlaussendenden Seite und dem Reflexionsspiegel Mb an der entgegengesetzten Seite angeordnet ist. Wie allgemein bekannt, besteht das Q-Schaltelement QS aus einem elastischen Körper S aus gehärtetem, geschmolzenem Quarz rechteckiger Form, der mit einem Vibrator TD zum Anschluß an eine äußere Hochfrequenzsignalquelle RF versehen und an einer Seite des Vibrators angebracht ist, während an der entgegengesetzten Seite ein Ultraschallabsorber AS angebracht ist. Das durch die Hochfrequenzsignalquelle RF angelegte Hochfrequenzsignal wird durch den Vibrator TD in Ultraschallwellen umgewandelt, wodurch ein Phasengitter G aufgrund der periodischen Veränderungen des Brechungsindex durch Ultraschallwellen erzeugt wird, die den elastischen Körper S durchlaufen, wobei das Gitter dimensionsmäßig Abstände besitzt, die der Wellenlänge der Ultraschallwellen entsprechen. Das Q-Schaltelement QS ist so angeordnet, daß die Resonanzachse gegen die Wellenfläche der Ultraschallwellen einen Winkel bildet, der die Bragg'schen Bedingungen erfüllt. 35

Demgemäß wird im Resonator D_1 der auf den elastischen Körper S einfallende Laserstrahl gebeugt, und die Laserschwingung wird durch Anlegen des Hochfrequenzsignals an das Q-Schaltelement QS unterdrückt. Durch die während dieser Periode erfolgende kontinuierliche Anregung wird im Lasermedium RM eine beträchtliche Besetzungsinversion akkumuliert. Wird dann die Einwirkung der Ultraschallwellensignale gestoppt, steigt die Laserschwingung in sehr kurzer Zeit an und liefert einen Q-Schalter-Impulsstrahl, wie Fig. 4(A) zeigt. 40

Beim Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung werden die Ultraschallwellensignale nicht auf Null reduziert, auch nicht während der Laserschwingung, sondern auf einem Pegel belassen, der 10 bis 15% der Signalstärke zum Zeitpunkt der Begrenzung der Laserschwingung beträgt, wie aus Fig. 4B hervorgeht. Auf diese Weise wird ein Teil des übertragenen Laserstrahls unter dem Einfluß eines im elastischen Körper S verbleibenden schwachen Phasengitters G versetzt; und ein Strahl R_1 , in welchem sich die ursprüngliche Strahlenkomponente B_1 mit der versetzten Strahlenkomponente B_2 überlappt, wird vom Resonator D_1 ausgesandt. 45

Was das Q-Schaltelement QS anbetrifft, gibt es dazu zwei unterschiedliche Typen, nämlich ein Q-Schaltelement QS , an das Ultraschallwellensignale nur von einer Richtung her angelegt werden, und ein Q-Schaltelement QS mit bidirektionaler Beaufschlagung, das auf jeweils miteinander in Verbindung stehenden Seiten des elastischen Körpers S Vibratoren TD_v und TD_h aufweist, wie Fig. 3 zeigt. Beim Q-Schaltelement QS des unidirektionalen Beaufschlagungstyps hängt der auf die Streuung zurückzuführende Laserlichtverlust stark von 50

der Polarisierung ab. Beim Nd:YAG-Laser beispielsweise ist im Falle, daß Ultraschallwellenschwingungen von 40 MHz angelegt werden, der Streuverlust des Lichtes, deren Polarisierungsebene parallel zur Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwellen liegt, fünfmal größer als der des Lichtes, deren Polarisierungsebene senkrecht zu der genannten Ausbreitungsrichtung liegt. Im Gegensatz dazu kann bei einem Q-Schaltelement QS_2 des bidirektionalen Beaufschlagungstyps ein nicht von der Polarisierungsebene abhängender starker Streuverlust deswegen erzielt werden, weil sich die Ultraschallwellen in zwei Richtungen H und V ausbreiten, die senkrecht aufeinanderstehen.

Im Falle, daß als Strahlversetzungsmittel beim Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ein Q-Schaltelement QS_2 des bidirektionalen Beaufschlagungstyps verwendet wird, ist es wünschenswert, daß die zur Zeit der Laserschwingung beizubehaltenden Ultraschallwellensignale RF_2 auf nur eine der beiden Richtungen beschränkt werden, während die Einwirkung in der anderen Richtung auf Null reduziert wird. Der Grund besteht darin, daß perfekt lineare Interferenzstreifen dann leicht erzeugt werden, wenn das polarisierte Licht des Laserlichts nur aus linear polarisiertem Licht besteht, was im Falle zweckmäßig ist, daß die Erzeugung von Rillen entsprechend dem Interferenzstreifen entsprechend der vorliegenden Erfindung erfolgt. Wenn ein Q-Schaltelement QS_2 des bidirektionalen Beaufschlagungstyps verwendet wird, unterscheiden sich die Richtungen der erzeugten Rillen I durch Einstellen der Richtung der Vibratoren DT_V (Richtung V) und TD_H (Richtung H) um 90° voneinander, wodurch die Richtung der Rillen I gewählt werden kann.

Andererseits ist es selbst im Falle der Verwendung eines Q-Schaltelementes QS mit unidirektionaler Beaufschlagung möglich, durch die Kombination zweier 1/4-Wellenlängenplatten P_1 , P_2 , wie Fig. 6 zeigt, das zu Anfang polarisierte Licht t_1 mit Hilfe der ersten 1/4-Wellenlängenplatte P_1 in zirkular polarisiertes Licht t_2 umzuwandeln und mit Hilfe der zweiten 1/4-Wellenlängenplatte P_2 wieder in linear polarisiertes Licht t_3 zurückzuverwandeln. Aus diesem Grunde kann das linear polarisierte Licht t_3 durch Drehen der zweiten 1/4-Wellenlängenplatte P_2 in eine gewünschte Richtung eingestellt werden, wodurch es möglich ist, die gewünschten Richtungen der Rillen I entsprechend den Interferenzstreifen zu wählen.

Im vorliegenden Falle erfolgte die Bearbeitung durch Bündeln des Q-Schaltelement-Impulsstrahls (Schwingungswellenlänge $1.06 \mu m$, Impulsbreite 100 ns, Impulswiederholungsfrequenz 1 kHz, mittlere Ausgangsleistung 4 W mit Hilfe einer Sammellinse L_3 , um mit einer Brennpunktstiefe von 100 mm zu arbeiten, bei gleichzeitiger Positionierung der Oberfläche des Werkstückes W, bestehend aus einem rostfreien Stahlblech, 4 mm oberhalb des genannten Brennpunktes F und Einstellen der Bewegungsgeschwindigkeit des XY-Tisches T in Richtung X auf 100 mm/min; und zwar unter der Bedingung der Verwendung eines YAG ($Nd^{3+} \cdot Y_3Al_5O_{12}$)-Laservibrators, der ein Q-Schaltelement QS_2 für bidirektionale Beaufschlagung als Laserresonator D_1 enthält. Die Bearbeitung erfolgte weiter durch Anlegen eines Hochfrequenzsignals von 40 MHz und 20 W an den Vibrator TD_H in Richtung H und von Frequenzsignalen von 40 MHz und 5 W an den Vibrator TD_V in Richtung V des genannten QS_2 -Elementes, sowie durch anschließendes Abtrennen (auf Null reduzieren) der an den Vibrator TD_V gehenden Hochfrequenzsignale, wobei gleichzeitig die an den Vibrator TD_H während der Laserschwingung gelieferten Hochfrequenzsignale bei 2 bis 3 W beibehalten werden. Der Durchmesser des Strahlflecks auf der bestrahlten Oberfläche betrug annähernd 0,3 mm und bildete etwa 300 Rillen I mit einem gegenseitigen Abstand von ungefähr $0,95 \mu m$ bei einer Breite von 0,3 mm bei jedem Überstreichen des Werkstückes durch den Laserstrahl. Die der Bestrahlung ausgesetzte bearbeitete Oberfläche des Werkstückes zeigte einen farbenreichen reflektierenden Glanz aus Regenbogenfarben sowohl bei Sonnenlicht, als auch bei Lampenlicht im Zimmer, und ihr Farbton änderte sich vielfältig je nach der Richtung der Beleuchtung und der Größe des Betrachtungswinkels. Wenn die Einstellung zum Anlegen der Hochfrequenzsignale an die Vibratoren TD_H und TD_V des Elementes QS_2 in entgegengesetzter Weise erfolgte, kehrte sich die Richtung der Rillen I gegen die vorgenannte Richtung um.

Fig. 7 veranschaulicht das Laserbearbeitungsgerät des Beispiels 2, das einen üblichen Laserresonator D_2 benutzt, dessen Lasermedium entweder ein Festkörper oder ein Gas ist. Bei diesem Gerät ist ein Element QS der gleichen Bauart wie derjenigen des Q-Schaltelement-Ultraschallwellenelementes des Beispiels 1 im optischen Pfad des Laserstrahls R_0 plaziert, der vom Laserresonator D_2 ausgesandt wird. Das Element QS ist derart angeordnet, daß das einfallende Licht des Strahls R_0 die Bragg'schen Bedingungen in bezug auf die Wellenfront der Ultraschallwellen befriedigt, welche durch die von der Hochfrequenzsignalquelle RF gelieferten Hochfrequenzsignale erzeugt werden.

Wenn bei dem vorliegenden Gerät des Beispiels 2 ein schwaches Hochfrequenzsignal mit dem gleichen Pegel wie demjenigen der während der Laserschwingung im Beispiel 1 angelegten Hochfrequenzwellen kontinuierlich an das Element QS angelegt wird, wird ein Teil des einfallenden Laserstrahls R_0 seitlich unter dem Einfluß eines im elastischen Körper S gebildeten schwachen Beugungsgitters versetzt, so daß kohärentes Licht R_1 , bei dem die ursprüngliche Strahlkomponente B_1 durch die versetzte Strahlkomponente B_2 überlappt wird, ausgesandt werden kann. Deshalb ist es durch Bündeln dieses Strahls R_1 mit Hilfe der Sammellinse R_3 durch die Linsen L_1 , L_2 und den Reflexionsspiegel M_1 sowie durch Richten des Strahls auf die Metalloberfläche des auf dem XY-Tisch T befindlichen Werkstückes W möglich, feine Rillen entsprechend den Interferenzstreifen zu erzeugen, wie früher erwähnt wurde.

Fig. 8 und Fig. 9 veranschaulichen das Laserbearbeitungsgerät der Beispiele 3 und 4, das einen Laserresonator D_2 gleicher Art wie den in Beispiel 2 benutzten verwendet. Bei dem Gerät des Beispiels 3 ist ein zweiseitiger Reflexionsspiegel M_2 mit einer partiell reflektierenden Ebene m_2 an der Oberfläche und einer total reflektierenden Ebene m_1 an der Rückseite am Orte des reflektierenden Spiegels M_1 zur Änderung der Richtung im Gerät der Beispiele 1 und 2 plaziert. Das Gerät des Beispiels 4 besitzt einen teildurchlässigen Spiegel M_3 , der eine partielle Reflexion auf der Oberfläche, aber keine Reflexion an der Rückseite bewirkt, sowie einen total reflektierenden Spiegel M_4 , der parallel zum erstgenannten Spiegel an der Rückseite in der gleichen Position wie oben angeordnet ist.

Bei den Geräten der Beispiele 3 und 4 tritt der vom Laserresonator D_2 ausgesandte und durch die Linsen L_1 , L_2 expandierte Laserstrahl R_0 in die Sammellinse L_3 als Strahl R_1 ein, der aus kohärentem Licht besteht. Dabei sind die Strahlkomponente B_1 und die dazu seitlich versetzte Strahlkomponente B_2 aufgrund eines optischen Pfadunterschiedes der beiden an den beiden reflektierenden Ebenen m_1 , m_2 des doppelseitigen Reflexionsspiegels M_2 reflektierten Strahlen, bzw. aufgrund eines optischen Pfadunterschiedes der beiden Reflexionsstrahlen, die vom teildurchlässigen Spiegel M_3 und vom total reflektierenden Spiegel M_4 reflektiert wurden, einander überlagert. Dieses Licht wird auf die Metalloberfläche des auf dem Tisch T liegenden Werkstückes W nach der Bündelung aufgestrahlt, wie oben erläutert. Dementsprechend werden im Überdeckungsbereich der beiden Strahlkomponenten B_1 und B_2 des Strahlflecks Interferenzstreifen erzeugt, mit deren Hilfe feine Rillen entsprechend den Interferenzstreifen auf der Metalloberfläche erzeugt werden. Die Richtung der Rillen kann durch Drehen des Spiegels M_2 bzw. der Spiegel M_3 und M_4 wunschgemäß eingestellt werden, wobei auch die Breite der Rillen frei mit der Einstellung des Abstandes zwischen den beiden reflektierenden Ebenen m_1 , m_2 des Spiegels M_2 bzw. des Abstandes zwischen den Spiegeln M_3 und M_4 eingestellt werden kann.

Bei den Beispielen 1 bis 4 ist die Strahlaussendungsposition der Sammellinse L_3 im Vergleich zum Brennpunkt der Linse L_3 stets zur Oberflächenseite hin eingestellt. Eine entsprechende Erzeugung feiner Rillen ist jedoch selbst dann möglich, wenn die genannte Position im Vergleich zum Brennpunkt zur tieferen Seite hin eingestellt ist. Das Mittel zur Verstellung der Ausstrahlungsposition, welche die Ausstrahlungsposition des kohärenten Lichtes auf die Metalloberfläche verschieben, ist nicht auf den XY-Tisch T beschränkt, sondern kann auch durch ein Mittel ersetzt werden, das das Werkstück seitlich dadurch versetzt, daß die Halterung des Werkstückes beweglich gemacht wird. Es kann auch ein XY-Strahlableiter, etc., sein, der durch Kombinieren zweier Rotationsspiegel gebildet ist, die für die Versetzung jeweils in X- und Y-Richtung und die seitliche Versetzung des kohärenten Lichtes vorgesehen sind. Zur Durchführung der Bearbeitung der Metalloberfläche mit Hilfe eines XY-Strahlableiters ist es erwünscht, auch die Mittel zur Versetzung des Brennpunktes zu kombinieren, wie etwa einen Z-Strahlableiter, etc., um die bis zur Metalloberfläche reichende Strahllänge zu korrigieren, die sich je nach dem Winkel des Drehspiegels ändert. Wenn weiter ein Bilddrehprisma in den optischen Pfad des Laserstrahls des Gerätes gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt wird, ändert sich mit der Drehung des Prismas die Richtung der Interferenzstreifen des Interferenzmusters und damit die Richtung der Rillen, die auf der Metalloberfläche gebildet werden. Die Folge ist, daß die Änderung der Farbtönung des erzeugten reflektierenden Glanzes, die vom Betrachtungswinkel und von der Richtung des auf die Metalloberfläche einfallenden Lichtes abhängt, noch anfälliger wird, indem sie den reflektierenden Glanz irisierender Farben wie beim Opal hervorbringt. Zusätzlich wird es durch Anbringen eines Brennpunktverschiebungsmittels, das die Brennpunktposition in Richtung der optischen Achse der Bündelungsmittel verschiebt, möglich, die Brennpunktposition auch gegen die Metalloberfläche dreidimensionaler Form, wie beispielsweise einer gekrümmten Ebene, etc., je nach der Position der bestrahlten Fläche in Z-Richtung zu verändern und durch Beibehaltung der Intensität des auf die bestrahlte Fläche gerichteten kohärenten Lichtes auf konstantem Niveau gleichförmige Unregelmäßigkeiten über den gesamten Abschnitt des bearbeiteten Bereiches der Metalloberfläche zu erzeugen. Das Brennpunktverschiebungsmittel muß nicht notwendigerweise die Bündelungsmittel selber verschieben. Es kann sich vielmehr um ein Mittel handeln, das bei im optischen Pfad befindlichen Linsen in Richtung der optischen Achse verschieben kann. Da die Operation der Brennpunktversstellung in der vorherigen Messung der Oberflächenform des Werkstückes sowie in der automatischen Verschiebung der Linse in Richtung der optischen Achse, durch numerische Steuerung unter Eingabe der Ergebnisse der genannten Messung in das Steuersystem, besteht, kann ein Z-Strahlableiter (dynamischer Brennpunkt) wie der in der konventionellen Laserbearbeitung verwendete Scanner, benutzt werden.

Mit Hilfe des Verfahrens und des Gerätes der vorliegenden Erfindung können durch Aufzeichnen einer Vielzahl von Mustern auf dem Bestrahlungsabschnitt des kohärenten Lichtes der Metalloberfläche Muster erzeugt werden, die selber wie ein Regenbogen schillern. Die Bildung solcher Muster kann durch Eingeben der Musterprogramme in das Steuersystem der Mittel zur Verstellung in XY-Richtung bzw. der Mittel zur Verstellung in XY- und Z-Richtung erfolgen, so daß der Bestrahlungsbereich des kohärenten Strahles automatisch entweder in XY-Richtung oder in XY- und Z-Richtung geändert werden kann.

Als nächstes soll das elektrolytische Polieren, bei dem es sich um ein vor der Laserbearbeitung durchzuführendes Einebnungsverfahren der Metalloberfläche handelt, erläutert werden.

Fig. 10A stellt eine vergrößerte Ansicht des sich im unbearbeiteten Zustand befindlichen Oberflächenabschnittes des Werkstückes W dar, auf den das Verfahren zur Entwicklung von Regenbogenfarben angewandt werden soll. Wie ersichtlich, bestehen breite und schmale Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche F_1 .

Wenn nun eine solche Oberfläche F_1 des Werkstückes W elektrolytisch poliert wird, bedeckt der mit Beginn der Elektrolyse erzeugte Polierfilm GL speziell die konkaven Partien, wie Fig. 10B zeigt. Der elektrische Strom konzentriert sich auf die konvexen Partien und verursacht vorzugsweise ein Auswaschen dieser konvexen Partien. Auch beginnt der Polierfilm GL allmählich zu schmelzen; und sobald irgendeine konvexe Partie erscheint, konzentriert sich die Elution auf diese Partie, wobei die Einebnung graduell fortschreitet, wie die Fig. 10C, D veranschaulichen, um schließlich eine Oberfläche F_2 mit sanften breiten Übergängen ohne scharfe Unregelmäßigkeiten zu schaffen.

Ein solches elektrolytisches Polieren kann nach dem normalen Verfahren erfolgen; doch ändern sich die Bedingungen, wie etwa die Zusammensetzung der Polierlösung, die Stärke des elektrischen Stromes, die Lösungstemperatur, die Analysedauer, etc., je nach dem Material des Metallbleches M im Laufe der Zeit. Die nachfolgende Tabelle gibt zwei Beispiele für eine Polierlösung sowie die Behandlungsbedingungen für rostfreien Stahl wieder:

Zusammensetzung der Polierlösung (Gew.-%)			
Phosphorsäure	42	Zitronensäure	50—70
Glycerin	47	Schwefelsäure	15—20
Wasser	Rest	Wasser	Rest

Strom (A)	20—80	10—20
Lösungstemperatur (°C)	90—140	45—125
Behandlungsdauer (min)	8—15	5—10

Im Falle, daß die Zeichnung im voraus auf der dem erwähnten elektrolytischen Polieren zu unterziehenden Metalloberfläche durch das normale Lasergravurverfahren hergestellt werden soll, gibt es bei diesem Verfahren Oxidfilme, die die herausgearbeiteten Rillen bedecken; doch werden diese Filme im Laufe des elektrolytischen Polierens entfernt. Somit kann jegliche ungünstige Einwirkung der Oxidfilme auf die Farbgebung des Grundes oder die Regenbogenfarbenentwicklung verhindert werden.

Nach Anbringen eines Spiegelflächenglanzes auf der Metalloberfläche durch das elektrolytische Polieren wird kohärentes Laserlicht auf die Oberfläche gestrahlt, wie bereits erwähnt, und die feinen Unregelmäßigkeiten entsprechen der Intensitätsverteilung der Interferenzstreifen im Licht zu erzeugen.

Fig. 11 zeigt die Oberfläche eines dem Verfahren zur Entwicklung von Regenbogenfarben unterzogenen Werkstückes. Selbst wenn die mit einem Spiegelflächenglanz versehene Oberfläche F_2 sanfte und breite Übergänge besitzt, wie dargestellt, wird jede konkave Rille I im Abschnitt der feinen Unregelmäßigkeiten U entsprechend den Überstrichbahnen des Lasers klar eingraviert.

Als nächstes werden Beispiele gezeigt, bei denen das Musterbildungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung jeweils auf Zeiger, Zifferblatt und Gehäuse einer Uhr angewandt sind. Die Fig. 12 bis 15 zeigen Anwendungsbeispiele für Zeiger; die Fig. 16 bis 23 zeigen Anwendungsbeispiele für das Zifferblatt; und die Fig. 24 bis 26 zeigen Anwendungsbeispiele für das Gehäuse.

Fig. 12 zeigt eine Armbanduhr, wobei 1 das Gehäuse, 2 das Zifferblatt mit den Skalen 2a, 2b für Stunde, Minute und Sekunde in Umfangsrichtung, 3 den Stundenzeiger, 4 den Minutenzeiger und 5 den Sekundenzeiger bezeichnen. Alle Zeiger 3 bis 5 bestehen aus rostfreiem Stahl.

Der Stundenzeiger 4 besitzt eine große Anzahl von Bereichen, die Regenbogenfarben erzeugen und aus Bestrahlungspunkten des kohärenten Laserlichts bestehen. Sie sind so angeordnet, daß sie über den gesamten Abschnitt der Vorderseite 3a einen bestimmten Zwischenabstand zueinander einhalten und den im vergrößerten Zustand in Fig. 13 dargestellten Spiegelflächenglanz erzeugen. Jeder Farbentwicklungsabschnitt 6 besteht aus zehn bis einigen hundert konkaven Streifen, die dem Wellenbestandteil der Interferenzstreifen innerhalb einer Kreisfläche entsprechen, die einen Durchmesser von annähernd einigen zehn bis mehreren hundert μm besitzt. Die Abschnitte sind so orientiert, daß sich die Richtung der konkaven Streifen I bei den in Längsrichtung des Zeigers hintereinanderliegenden Farbentwicklungsabschnitten 6 unterscheidet.

Der Minutenzeiger 4 besitzt Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitte 7, die aus Laserüberstrichlinien in Längsrichtung des Zeigers bestehen, welche die Gestalt dreier paralleler Linien auf der Vorderseite 4a besitzen und eine Spiegelflächenglanz besitzen, wie er im vergrößerten Zustand aus den Fig. 14 und 15 hervorgeht. Jeder Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt hat eine Breite L (vergleiche Fig. 15) von einigen zehn bis mehreren hundert μm entsprechend dem Durchmesser des Bestrahlungsflecks des kohärenten Laserstrahls und besteht aus einigen zehn bis mehreren hundert konkaven Streifen I mit einer Breite von ungefähr 1 μm , die dem Wellenteil der Interferenzstreifen innerhalb der genannten Breite L entsprechen.

Auch auf der Vorderseite des Sekundenzeigers 5 ist ein linearer Entwicklungsabschnitt 7 für Regenbogenfarben vorhanden, der aus Laserüberstrichlinien entsprechend denen des Minutenzeigers 4 besteht.

Im vorliegenden Falle der Armbanduhr erscheint ein Regenbogenentwicklungsabschnitt 6 in einer unendlichen Anzahl von Leuchtpunkten, so als ob die Regenbogenfarben über die gesamte Vorderseite 3a des Stundenzeigers 3 aus dem Dunklen hervorträten, wobei sich der Farbton dieser Leuchtpunkte in eine Vielzahl herrlicher Regenbogenfarben ändert und dabei gleichzeitig mehrfache Farbtöne entsprechend dem Einfallswinkel des Lichtes oder der Betrachtungsrichtung entwickelt. Weiter wird beim Minutenzeiger 4 und beim Sekundenzeiger 5 jeder Regenbogenentwicklungsabschnitt 7 als eine schöne leuchtende Linie erkannt, die ebenfalls Änderungen der gleichen Regenbogenfarben hervorruft.

Beim obigen Ausführungsbeispiel ist der Stundenzeiger 3 mit punktförmigen Regenbogenentwicklungsabschnitten 6 ausgestattet, während der Minutenzeiger 4 und der Sekundenzeiger 5 geradlinige Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitte 7 aufweist. Die Gestalt der Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitte der drei Zeiger 3 bis 5 kann jedoch nach Wunsch frei gewählt werden. Darüber hinaus kann die Anordnung der punktförmigen Regenbogenfarbenerzeugungsabschnitte 6, ihr gegenseitiger Abstand, die Richtung der konkaven Rillen I wie auch die Richtung und gegenseitige Abstandhaltung der geradlinigen Regenbogenfarbenerzeugungsabschnitte 7 nach Wunsch eingestellt werden. Es ist ferner möglich, Regenbogenfarben in Form einer Fläche zu bilden, und zwar durch Reduzieren der Zwischenabstände der Farbentwicklungsabschnitte 6 oder 7. Zusätzlich zu den Zeigern kann eine Regenbogenentwicklung auch auf die Stundenskala 2a des Zifferblattes, auf die Ziffern zur Bezeichnung der Stunden sowie auf die Buchstaben des Produktnamens sowie auf die Funktionsangaben, etc., angewandt werden, um Beispiele zu nennen, und zwar durch Überzeichnen mit Strahlung eines kohärenten Laserstrahls.

Das Zifferblatt 2A der Armbanduhr des Beispiels 1 besitzt gemäß Fig. 16 einen Spiegelflächenglanz auf einer Fläche 8a eines runden rostfreien Stahlbleches 8, das in der Mitte ein Loch 2c für die Zeigerwelle besitzt, während im Umfangsabschnitt der Oberfläche 8a die Skalen 2a, 2b zur Bezeichnung der Stunden, Minuten und

Sekunden durch ein herkömmliches, von einem Laserbearbeitungsgerät ausgeführtes Rillenbildungsverfahren eingraviert sind. Auf der gesamten Fläche des runden Teils mit Ausnahme des Umfangsabschnittes der Oberfläche 8a ist ein Regenbogenfarbenerzeugungsabschnitt 9 angebracht. Dieser Regenbogenfarbenerzeugungsabschnitt besteht aus achteckig-radialen Mustereinheiten 9a, wobei jedes Liniensegment aus drei Laserüberstrichlinien 10 besteht, die entsprechend der vergrößerten Darstellung der Fig. 17 in alle Richtungen laufen. Jede einzelne Laserüberstrichlinie 10 besteht aus einer großen Anzahl paralleler, konkaver Rillen 1 entsprechend dem hellen Teil der Interferenzstreifen, die durch die Bestrahlung mit dem kohärenten Laserstrahl gebildet werden, wie die weitere Vergrößerung der Fig. 18 zeigt. Gewöhnlich besitzt jede Überstrichlinie 10 eine Breite von einigen zehn bis annähernd mehreren hundert μm , wie im Falle der genannten Zeiger, und sie besitzt mehrere hundert konkaver Streifen 1 mit einer Breite von etwa 1 μm innerhalb der genannten Breite.

Bei dem Zifferblatt 2A mit der obigen Gestaltung kann ein reflektierender Glanz, der farbige Änderungen des Farbtones in verschiedenartiger Weise sowie als Regenbogen erzeugt, erzielt werden, wobei der Glanz für die Kreuzungsstelle + und für die Kreuzungsstelle x der Mustereinheit 9a entweder getrennt oder gleichzeitig in beiden Kreuzungsstellen aufscheint, und zwar entweder in der gleichen Farbtönung, oder in verschiedenen Farben, etc.

Bei dem Zifferblatt 2B des Beispiels 2 gemäß Fig. 19 ist ein Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt 11 auf der Oberfläche 8a, in gleicher Weise wie im Falle des obigen Beispiels, ein Spiegelflächenglanz auf der runden Scheibe mit Ausnahme des Umfangsabschnittes angebracht. Der Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt 6 besitzt Muster, in welchem Bandbereiche 11a Laserüberstrichlinien 10 aufweisen, die dicht verteilt und parallel in Querrichtung angeordnet sind. Weiter gibt es Bandbereiche 11b mit Laserüberstrichlinien 10, die dicht und parallel in Längsrichtung angeordnet sind und durch frei gelassene Abschnitte 11c in Gestalt der Zähne eines Kammes in Maßlängen unterteilt sowie alternierend angeordnet sind, wie Fig. 20 zeigt. Jede Laserüberstrichlinie 10 besteht aus einer großen Anzahl paralleler konkaver Streifen 1, die dem hellen Teil der Laserinterferenzstreifen entsprechen, wie in den bisherigen Fällen, und wie in Fig. 21 dargestellt ist.

Bei der vorliegenden Art des Zifferblattes 2B bildet der Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt 11 ein Flächenmuster, das aus Bandbereichen 11a, 11b oder unterteilten Blockbereichen 11b besteht und einen reflektierenden Glanz liefert, der sich in der Farbe in vielfältiger Weise wie ein Regenbogen ändert, je nach dem Einfallswinkel des Lichtes oder dem Betrachtungswinkel.

Das Zifferblatt 2 der Armbanduhr des Beispiels 3 besitzt, wie in Fig. 22 dargestellt ist, Skalen 2a, 2b zur Anzeige der Stunden, Minuten und Sekunden, die durch das übliche Rillenbildungsverfahren entlang des Umfangsteils eingraviert sind, der ein Loch 2c für die Zeigerwelle aufweist, das in die Mitte einer Seite 12a gebohrt ist. Die Seite besitzt einen Spiegelflächenglanz auf dem quadratischen rostfreien Stahlblech 12 sowie einen Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt, bestehend aus Bestrahlungspunkten 6 eines kohärenten Laserstrahls, die über die gesamte Kreisfläche innerhalb der Skalen in bestimmten Abständen angeordnet sind. Wie Fig. 23 zeigt, besteht jeder Bestrahlungspunkt 6 aus einer großen Anzahl konkaver Streifen entsprechend dem hellen Teil der Interferenzstreifen und ist so orientiert, daß sich die Richtung der konvexen Streifen 1 von derjenigen der sich anschließenden Farbentwicklungsabschnitte 6 unterscheidet.

Bei der vorliegenden Art des Zifferblattes 2C erscheint eine unendliche Anzahl von Lichtpunkten im Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt 13 in einer Weise, als ob sie aus dem Dunklen hervortreten würden, je nach dem Einfallswinkel des Lichtes und der Blickrichtung, wobei sich die Farbtönung der Lichtpunkte in einer Vielzahl herrlicher Lichtbogenfarben verändert und gleichzeitig zusätzlich vielfache Farben entwickelt.

Die Zifferblätter 2A bis 2C der Beispiele 1 bis 3 veranschaulichen nur einige wenige typische Beispiele und erlauben eine unbegrenzte Anzahl verschiedener Gestaltungen, insbesondere der Muster durch feine Unregelmäßigkeiten, welche den Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt bilden. Weiter ist es durch Änderung der Richtung der Streifen der feinen Unregelmäßigkeiten möglich, einen reflektierenden Glanz der Muster zu erzielen, der sich je nach dem Einfallswinkel des Lichtes und der Betrachtungsrichtung innerhalb der in einem in einer Sichtfläche angebrachten Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt ändert.

Obleich der Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt bei jedem der obigen Beispiele in den Grenzen einer runden Scheibe um das Loch 2 der Zeigerwelle angebracht ist, kann der Regenbogenentwicklungsabschnitt selber in verschiedene Muster unterteilt werden. Eine Regenbogenfarbenentwicklung kann auch auf Buchstaben zur Anzeige der Stunde 2a, zur Anzeige der Minute und Sekunde 2b sowie zur Dekoration des Produktnamens und der Funktionsanzeige etc. angewandt werden.

Fig. 24 veranschaulicht eine Armbanduhr, an der das Regenbogenfarbenentwicklungsverfahren auf das Gehäuse 1A aus rostfreiem Stahl angewandt wurde.

Wie aus der vergrößerten Darstellung der Fig. 25 hervorgeht, sind die Bestrahlungspunkte 6 des kohärenten Laserstrahls in Längs- und Querrichtung in einer Weise angeordnet, daß sie über die gesamte Fläche der Umfangsfläche 1a, die die Stirnseite des Gehäuses 1A umgibt, d. h. das Zifferblatt 2, mit untereinander festen Abständen verteilt sind. Jeder Punkt 6 besteht aus einigen zehn bis mehreren hundert konkaven Streifen 1 entsprechend dem hellen Teil der Interferenzstreifen, die innerhalb eines Durchmessers von ungefähr einigen zehn bis mehreren hundert μm parallel zueinander angeordnet und in der Weise orientiert sind, daß sich die Richtung der konkaven Streifen 1 von derjenigen der sich anschließenden Punkte 6 unterscheidet, wie Fig. 25 zeigt.

Bei dieser Art der Armbanduhr verwandelt sich die gesamte Fläche der Umfangsfläche 1a des Gehäuses 1A in einen Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt, wobei die Punkte 6 in unbegrenzter Zahl als Lichtpunkte in Erscheinung treten so, als ob sie aus dem Dunklen kämen. Dabei ändert sich der Farbton der Lichtpunkte in eine Vielzahl herrlicher Regenbogenfarben, und gleichzeitig entwickeln diese verschiedene Farben, je nach dem Einfallswinkel des Lichtes und der Blickrichtung.

Fig. 26 stellt eine vergrößerte Ansicht der Umfangsfläche 1a des Gehäuses 1B eines weiteren Ausführungsbei-

spieles dar, das ebenfalls dem Verfahren zur Entwicklung von Regenbogenfarben unterzogen wurde. In diesem Falle ist eine große Anzahl von Laserüberstrichlinien 10 über die gesamte Seite der Umfangsfläche 1a angebracht. Die Überstrichlinien 10 bestehen aus einigen zehn bis mehreren hundert konkaven Streifen I mit einer Breite von etwa $1\mu\text{m}$, die dem hellen Teil der Interferenzstreifen entsprechen, die parallel zueinander innerhalb einer Breite von annähernd einigen zehn bis mehreren hundert μm angeordnet sind, entsprechend dem Strahlendurchmesser des kohärenten Laserstrahls.

Bei dieser Art der Armbanduhr geht die gesamte Fläche der Umfangsfläche 1a des Gehäuses 1B in einen Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt über, während die Überstrichlinien 10 als herrlich leuchtende Linien erfaßt werden, deren Farbton sich in eine Vielfalt von Regenbogenfarben ändert, je nach Einfallsrichtung des Lichtes und der Blickrichtung, wie im Falle des vorhergehenden Beispiels.

Die Gehäuse 1A, 1B veranschaulichen nur typische Beispiele und erlauben eine unbegrenzte Zahl verschiedener Gestaltungen insbesondere für Muster aus feinen Unregelmäßigkeiten, die den Regenbogenfarbenerzeugungsabschnitt bilden. Beispielsweise können durch Laserüberstrichlinien Muster aus geometrischen Figuren, usw., gezogen werden. Weiter muß der Regenbogenfarbenentwicklungsabschnitt nicht gleichmäßig über die gesamte Fläche der Umfangsfläche 1a des Gehäuses ausgebreitet sein, sondern kann auch Unterbrechungen aufweisen.

Bei den obigen Anwendungsbeispielen für Uhren wurde die Regenbogenentwicklung auf Zeiger, Zifferblatt und Gehäuse angewendet. Jedoch kann die Verzierungs Wirkung weiter durch eine Kombination verschiedener der Regenbogenentwicklung unterzogenen Abschnitte intensiviert werden. Die Regenbogenfarbenentwicklung kann nicht nur auf die als Beispiele herangezogenen Armbanduhren angewandt werden, sondern auch auf Taschenuhren, Tischuhren, Wanduhren, usw.

Als nächstes wird ein Beispiel zur Herstellung eines Edelmetallfilms auf einer Metalloberfläche erläutert, die der Regenbogenfarbenentwicklung entsprechend dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung unterzogen wird, um ihr zusätzlich das Aussehen hochwertiger Qualität zu verleihen.

Es wird davon ausgegangen, daß ein Abschnitt feiner Unregelmäßigkeiten U_1 , bestehend aus einer großen Anzahl dichter feiner Unregelmäßigkeiten, auf der Oberfläche eines Werkstückes besteht, wobei diese Unregelmäßigkeiten mit Hilfe des Laserverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung erzeugt wurden, wie Fig. 27A zeigt. Im vorliegenden Falle besteht das Werkstück W entweder aus rostfreiem Stahl, oder aus einer Ni-Cr-Legierung. Wird die gesamte Fläche dieser Oberfläche mit feinen Unregelmäßigkeiten U_1 mit einem Edelmetall wie Gold, Silber, Platin etc. mit Hilfe von Verfahren wie der Vakuumbedampfung, des Sputerns, der Ionenplattierung, etc., in einer sehr geringen Dicke von nicht mehr als $1\mu\text{m}$ bedeckt, werden feine Unregelmäßigkeiten U_2 , in denen die Rillen durch jede konkave Partie I getreu zutage treten, an der Oberfläche des Edelmetallfilms PM an den Stellen der feinen Unregelmäßigkeiten U_1 erzeugt.

Diese feinen Unregelmäßigkeiten U_2 zeigen nicht nur einen reflektierenden Glanz, dessen Farbton sich in der verschiedensten Weise wie ein Regenbogen je nach dem Winkel des einfallenden Lichtes oder der Blickrichtung verändert, sondern sie besitzen auch in gleicher Weise, wie andere Oberflächenbereiche, den für das kostbare Metall einzigartigen Edelmetallganz in Gestalt gestreuter Lichtreflexionen.

Zu den Metallen, die durch einen derartigen Edelmetallfilm PM mit der Suggestion hoher Qualität versehen werden können, gehören beispielsweise hochwertige persönliche metallische Zierstücke, wie beispielsweise eine Nadel, ein Clipohrring, ein durchgesteckter Ohrring, ein Ring, etc., ein Zifferblatt, Zeiger, die Außenseite von Uhrengehäusen wie bereits erwähnt, Figürchen und andere metallische Kunstgewerbegegenstände, hochwertige metallische Tischbestecke wie beispielsweise Löffeln, Gabeln, Messer, Teller etc.; aber auch äußere Metallteile verschiedener elektrischer Haushaltsgeräte, Metallteile hochwertigen Mobiliars, usw.

Patentansprüche

1. Laserbearbeitungsverfahren für metallische Oberflächen, gekennzeichnet durch das seitliche Versetzen eines Teils eines Laserstrahls zur Umwandlung in einen Strahl, in welchem sich die ursprüngliche Strahlkomponente und die versetzte Strahlkomponente gegenseitig überdecken; und durch das Auftreffenlassen dieses Strahls, nach Bündelung, auf eine Metalloberfläche zur Bildung feiner Unregelmäßigkeiten auf der Metalloberfläche, die der Verteilung der Intensität der Interferenzstreifen entsprechen, die im Überlappungsbereich der beiden Strahlkomponenten erzeugt werden.

2. Laserbearbeitungsverfahren für metallische Oberflächen nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Aufnahme eines Q-Schalter-Ultraschallelementes in den Resonator eines Festkörperlaser, und durch seitliches Versetzen eines Teils des Laserstrahls, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung während der Dauer der Laserschwingung des an das Q-Schaltelement anzulegenden Hochfrequenzsignals auf einem Pegel, der die Laserschwingung nicht beendet.

3. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche, auf die der Laserstrahl auftreffen soll, eine Oberfläche ist, auf der durch elektrolytisches Polieren ein Spiegelflächenglanz erzeugt worden ist.

4. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche, auf der ein Spiegelflächenglanz erzeugt worden ist, mit einem durch Lasergravur erzeugten Bild versehen ist.

5. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche, auf die der Laserstrahl auftreffen soll, die Oberfläche eines Metallzeigers einer Uhr ist.

6. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche, auf die der Laserstrahl auftreffen soll, die Oberfläche eines Zifferblatte

einer Uhr ist.

7. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche, auf der der Laserstrahl auftreffen soll, die Oberfläche des Metallgehäuses einer Uhr ist, wobei mindestens die das Zifferblatt umgebende Umfangsfläche einbezogen ist.

8. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche, auf die der Laserstrahl auftreffen soll, aus rostfreiem Stahl oder aus einer Ni-Cr-Legierung besteht, und daß ein Edelmetallfilm auf der genannten Oberfläche vorgesehen, auf der die feinen Unregelmäßigkeiten entsprechend der Intensitätsverteilung der Interferenzstreifen des Laserstrahls hervorgerufen sind, mit einer Dicke, bei der die feinen Unregelmäßigkeiten an der Oberfläche bestehen bleiben.

9. Laserbearbeitungsverfahren für Metalloberflächen nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Edelmetallfilm ein Film mit einer Dicke von nicht mehr als 1 µm ist und aus einem Metall besteht, das Gold, Silber oder Platin sein kann.

10. Laserbearbeitungsgerät für Metalloberflächen, dadurch gekennzeichnet, daß es folgende Komponenten aufweist:

einen Laserresonator; Strahlversetzungsmittel, die einen Teil des vom Resonator ausgestrahlten Laserstrahls seitlich versetzen und in einen Strahl umwandeln, bei dem sich die ursprüngliche Strahlkomponente und die versetzte Strahlkomponente einander durch Interferenz im optischen Pfad des Laserstrahls überlappen; Strahlbündelungsmittel, welche den Strahl auf die Metalloberfläche des Werkstückes durch Bündeln des Strahls auftreffen lassen; und Bestrahlungspositionsverschiebungsmittel, welche die Bestrahlungsposition des Strahls relativ in XY-Richtung verschieben.

11. Laserbearbeitungsgerät für Metalloberflächen nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlversetzungsmittel aus einem Element gleicher Bauart wie der eines Q-Schalter-Ultraschallelements besteht.

12. Laserbearbeitungsgerät für Metalloberflächen nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlverschiebungsmittel aus einem zweiseitigen Reflexionsspiegel mit einer partiell reflektierenden Ebene auf der Oberfläche und einer total reflektierenden Ebene auf der Rückfläche bestehen.

13. Laserbearbeitungsgerät für Metalloberflächen nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlversetzungsmittel aus einem teildurchlässigen Spiegel und einem total reflektierenden Spiegel bestehen, der in der Nähe des erstgenannten Spiegels und parallel dazu angeordnet ist.

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

FIG.1

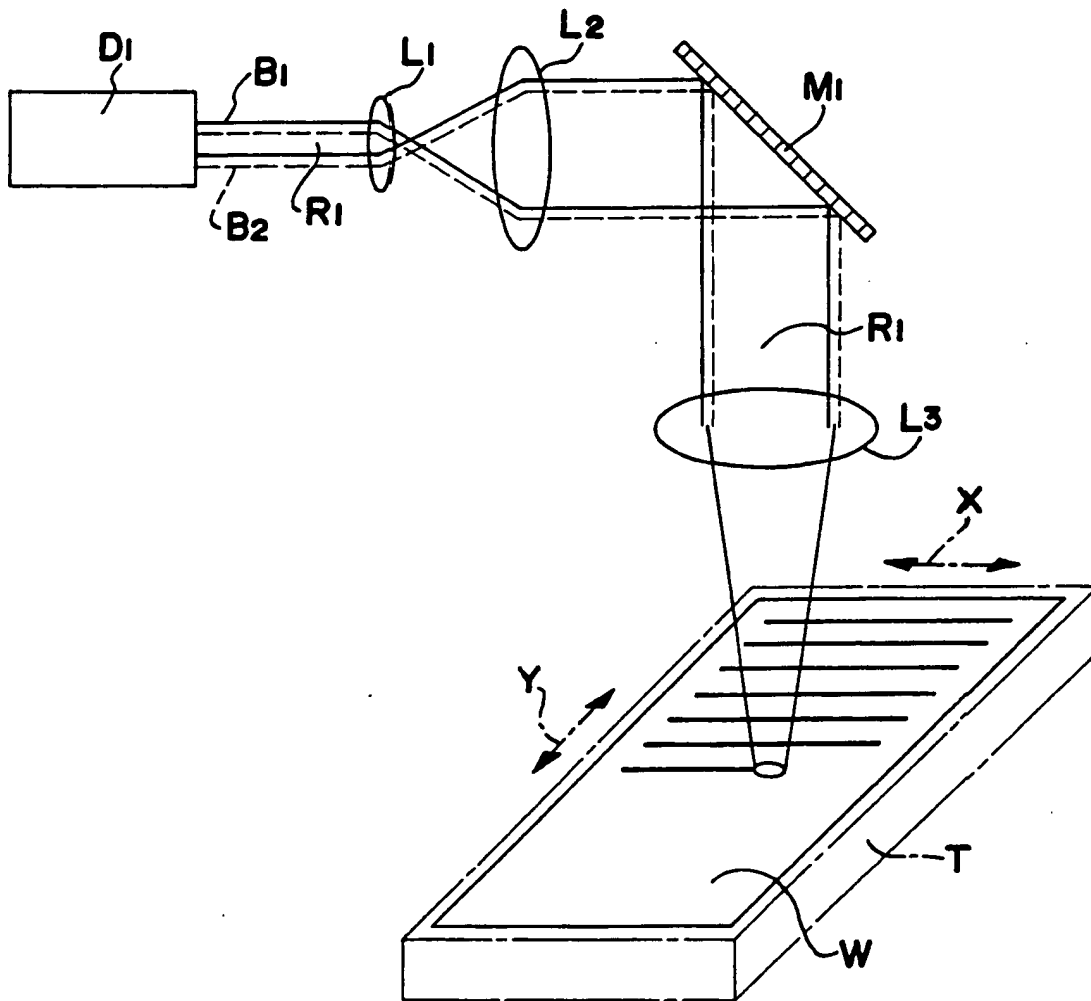


FIG.2

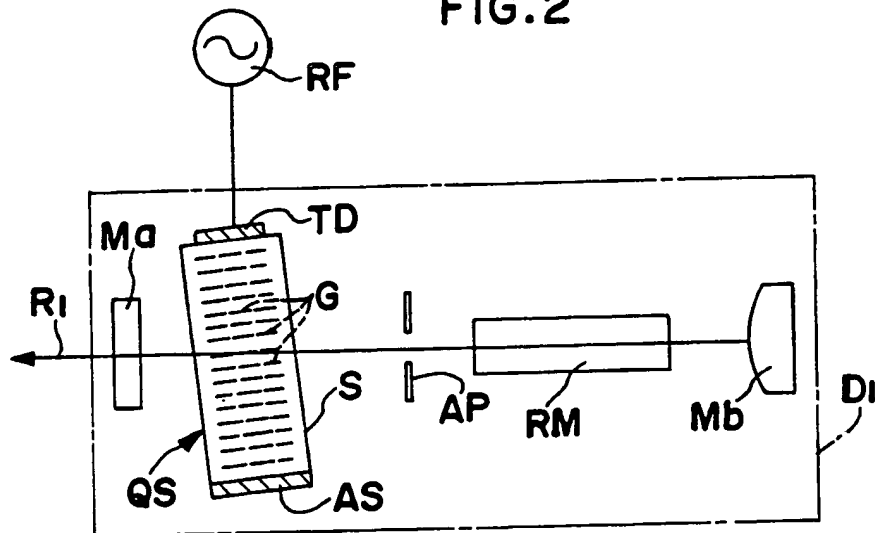


FIG.3

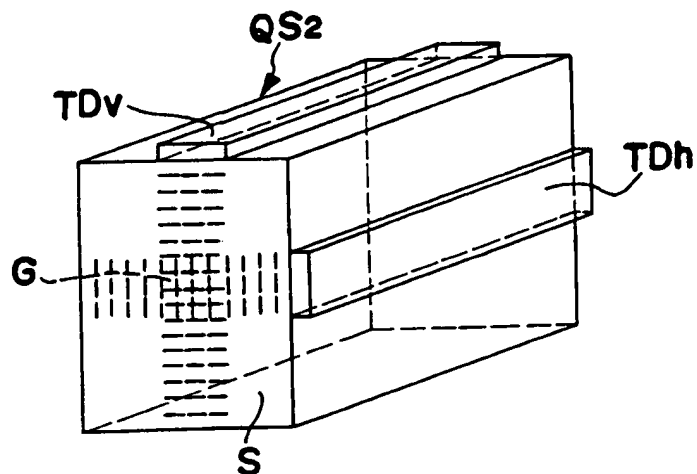


FIG.4(A)

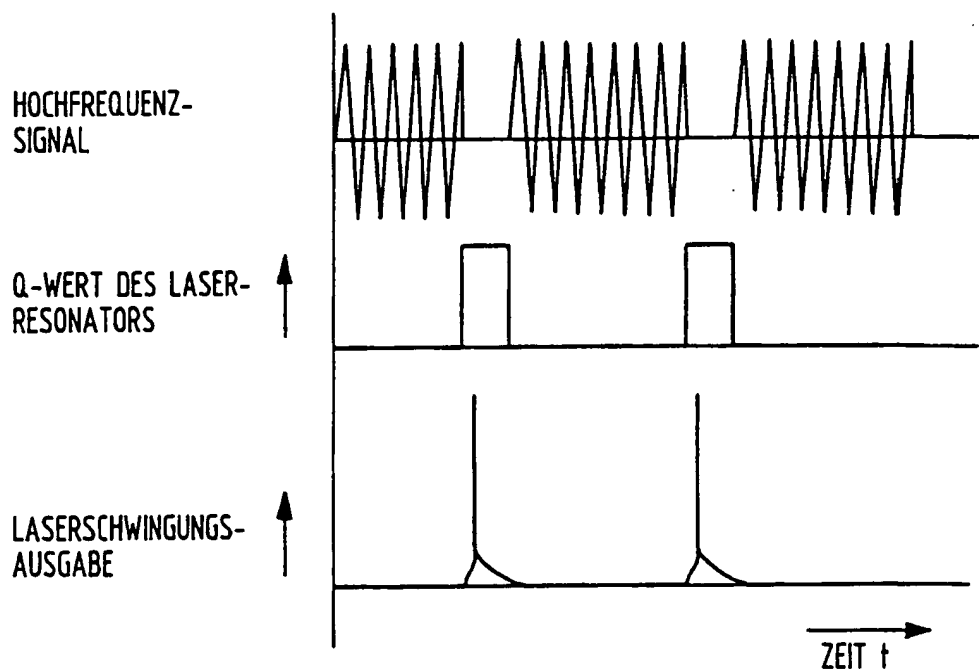
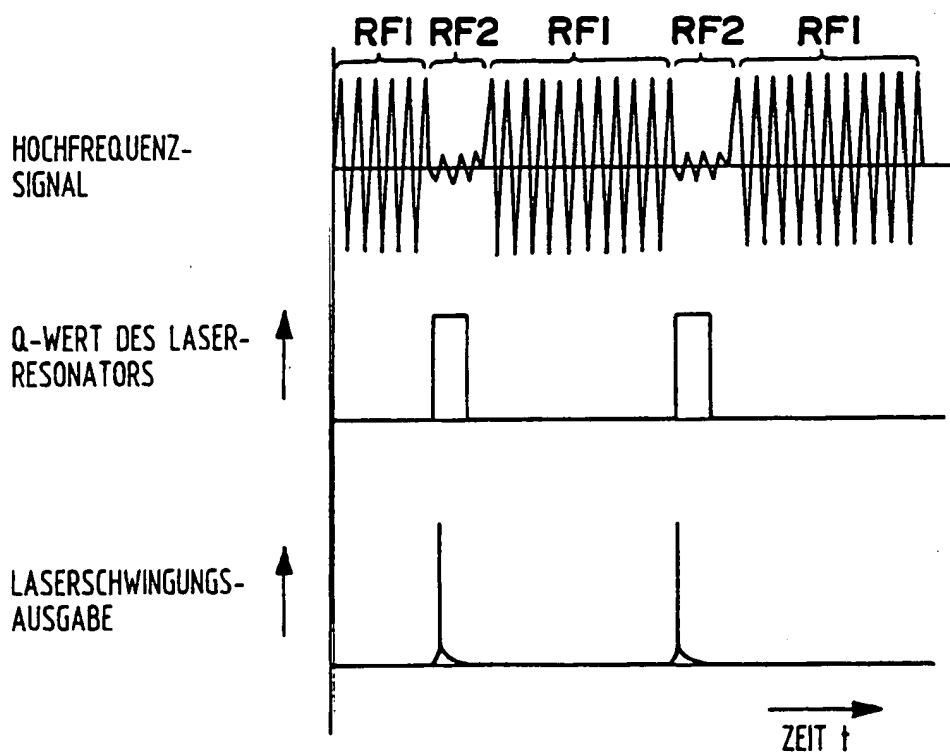


FIG.4(B)



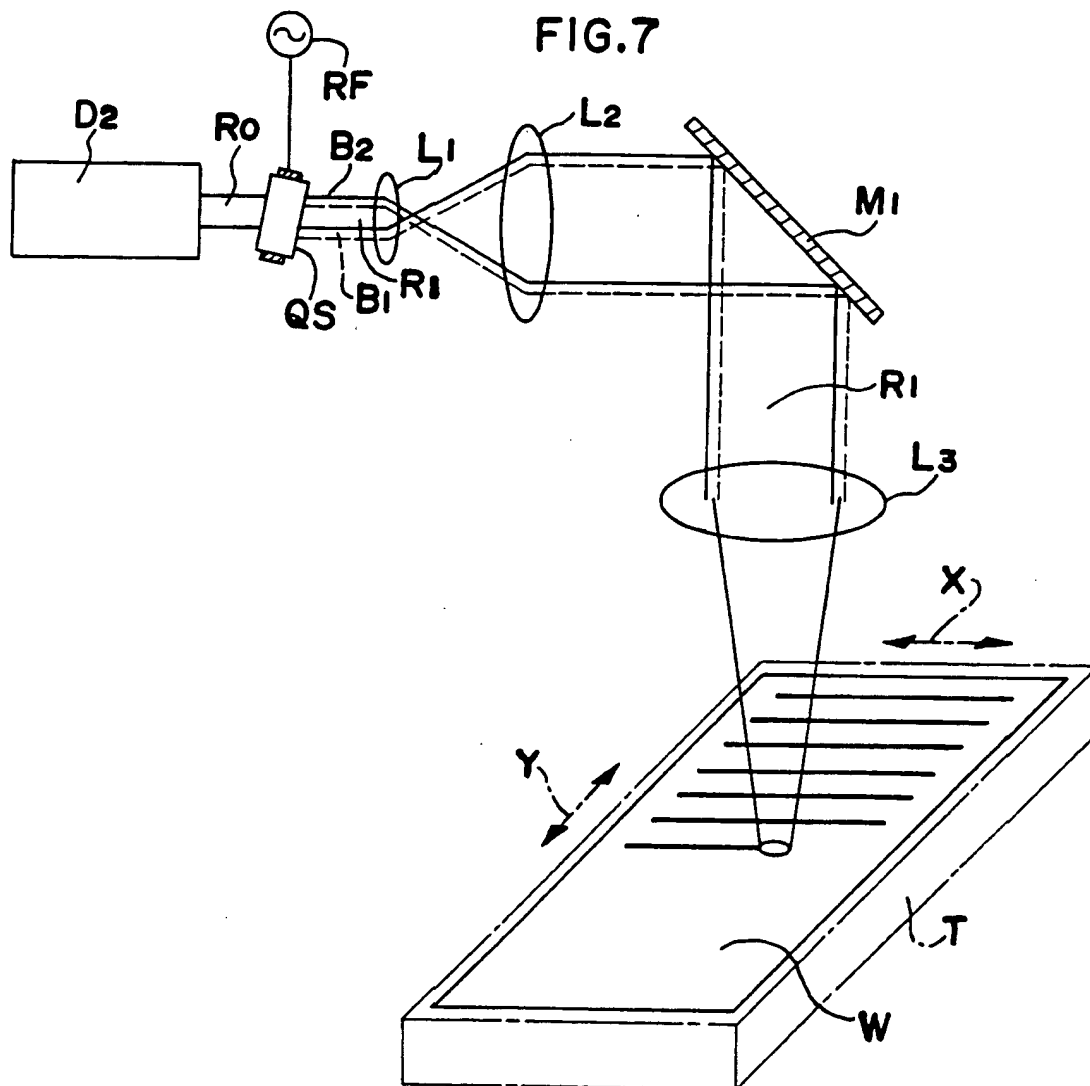
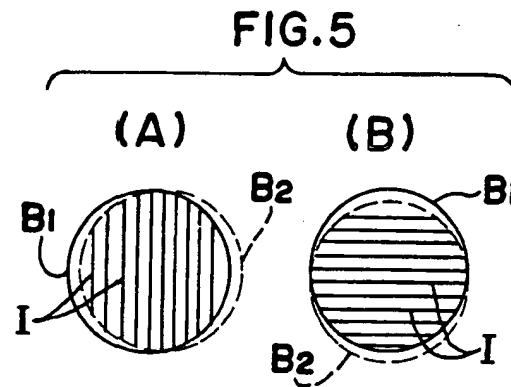


FIG.6

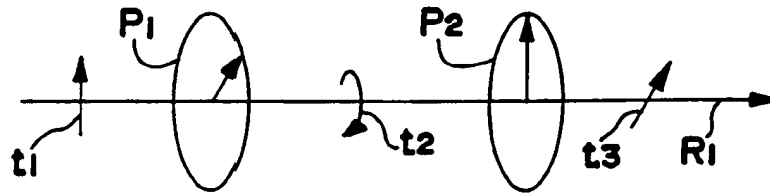


FIG.8

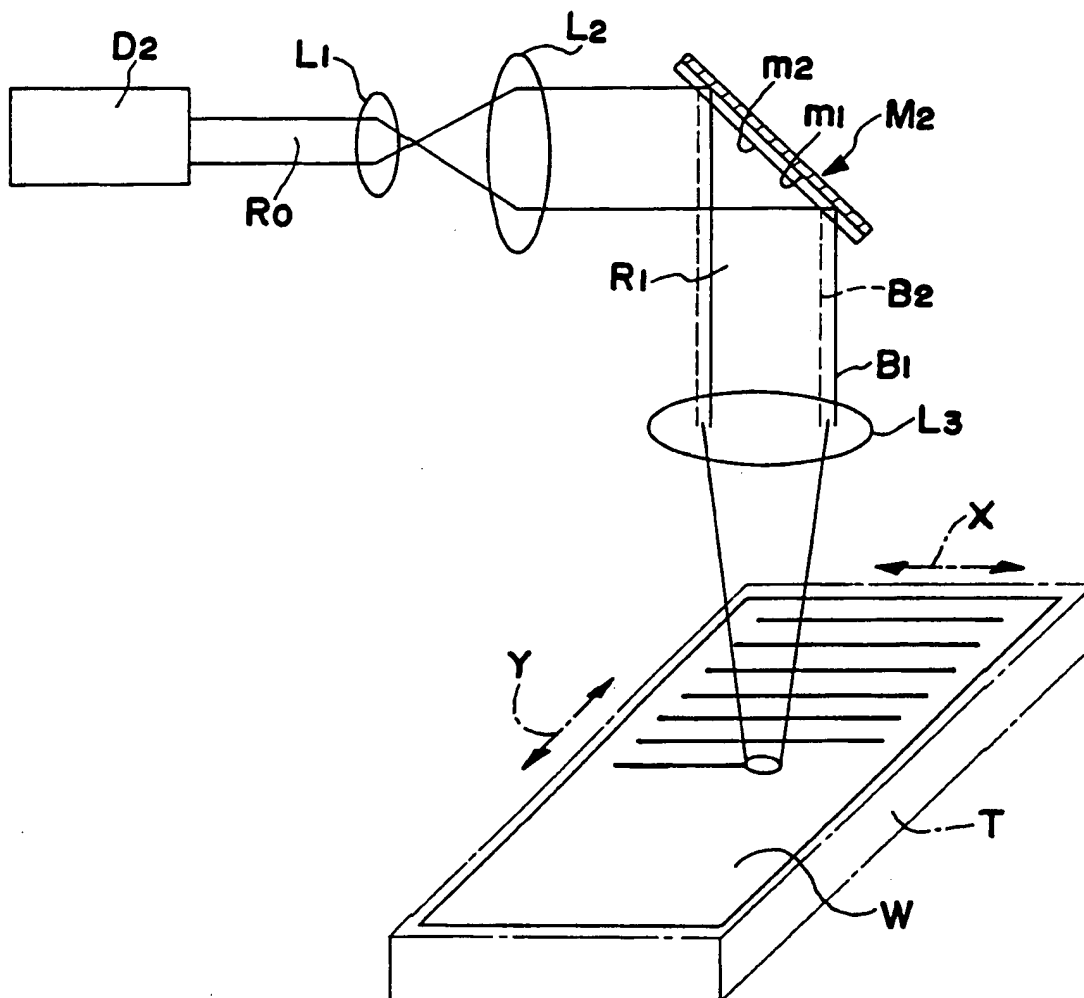


FIG.9

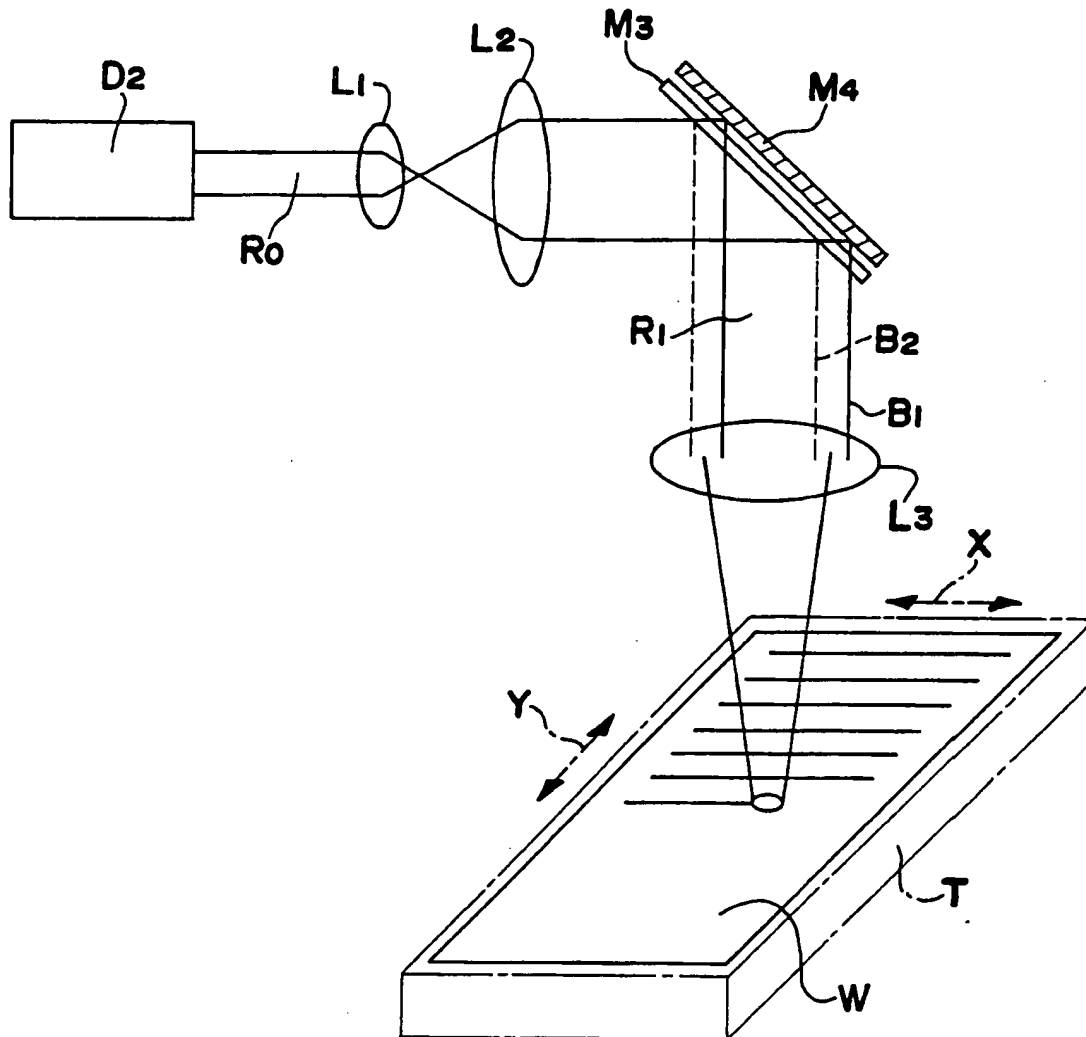


FIG.11



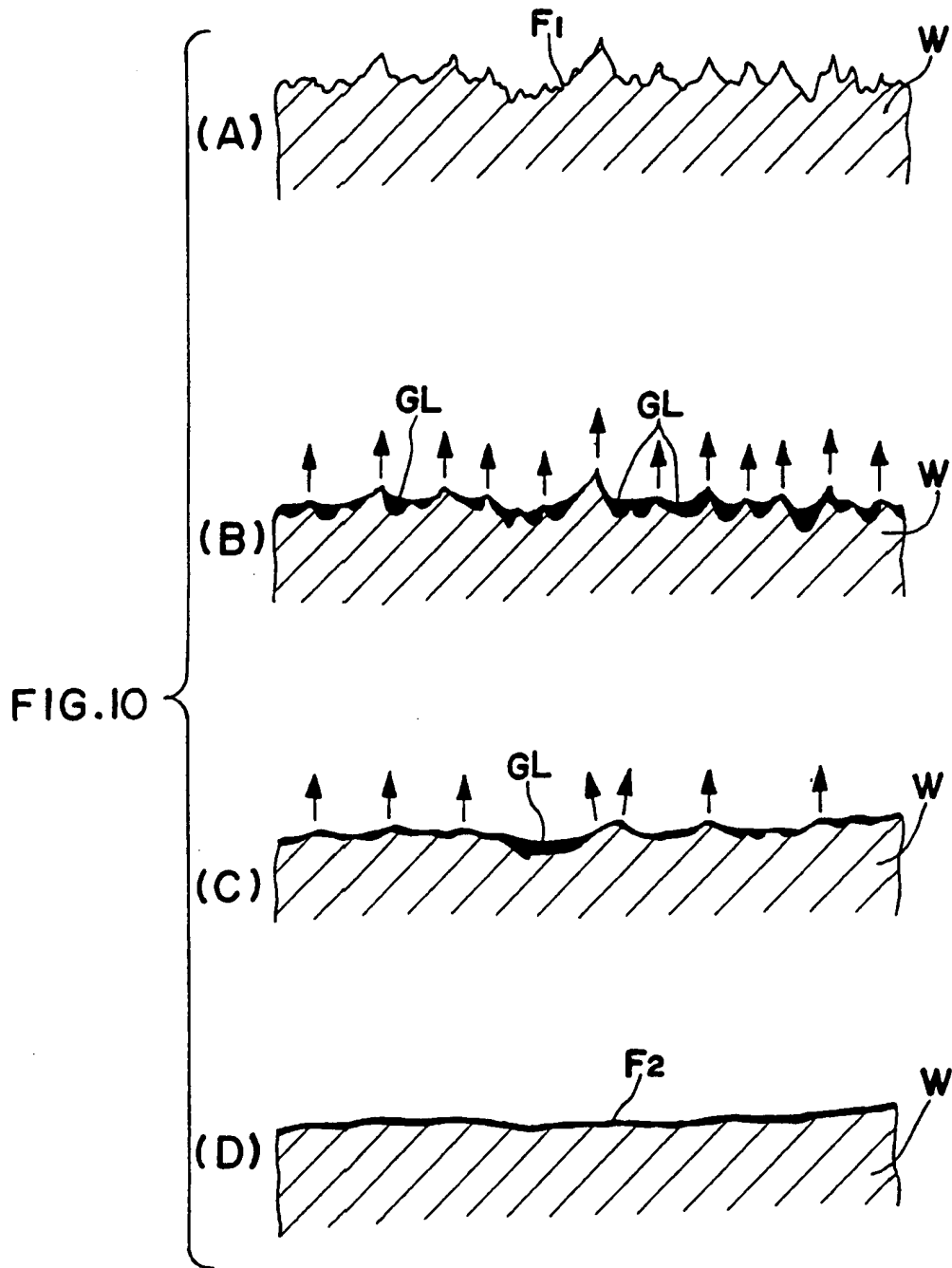


FIG.12

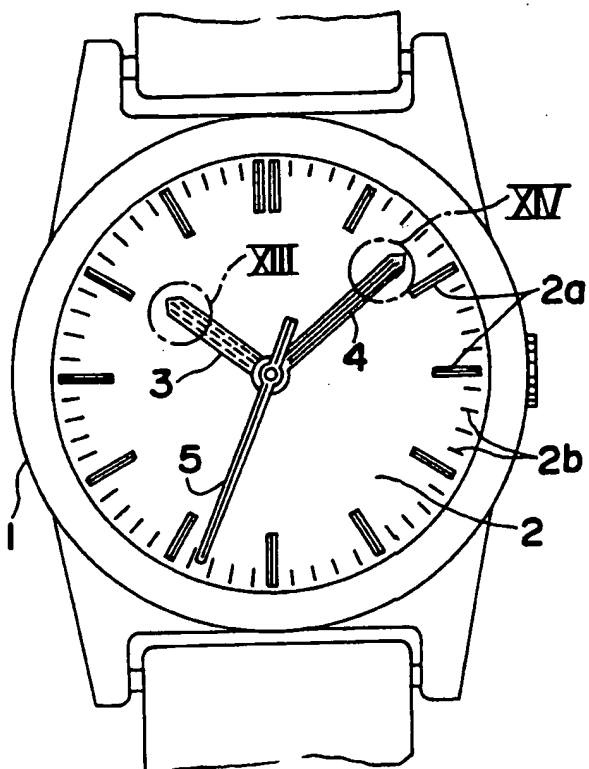


FIG.13

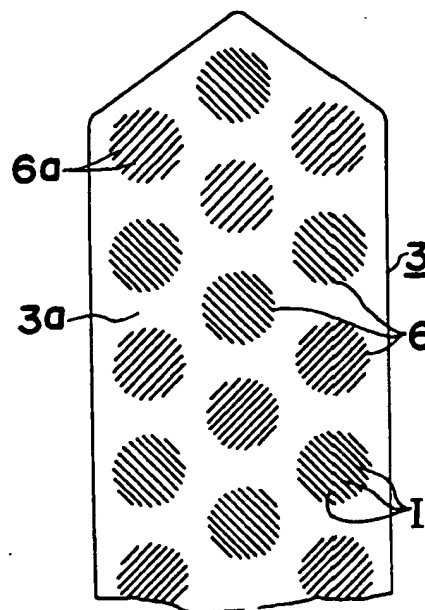


FIG.14

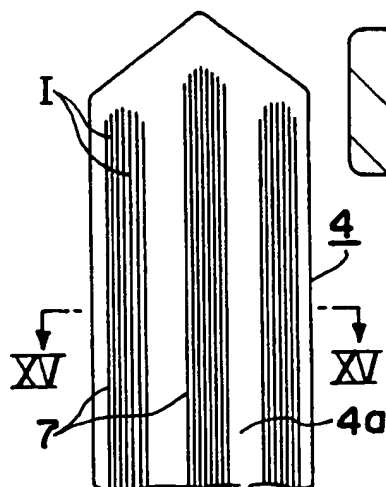


FIG.15

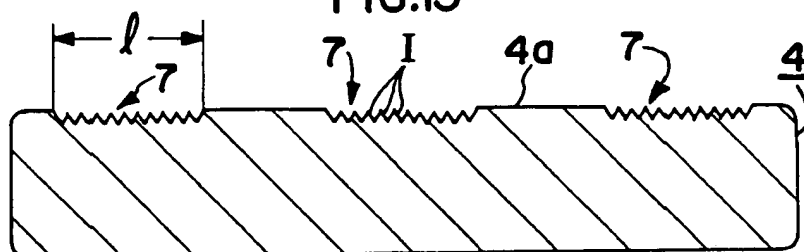


FIG.16

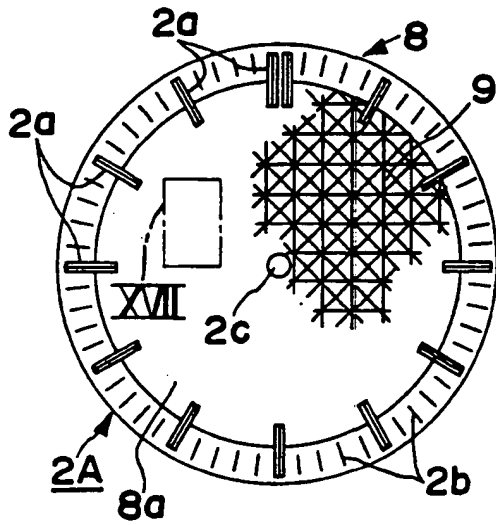


FIG.18

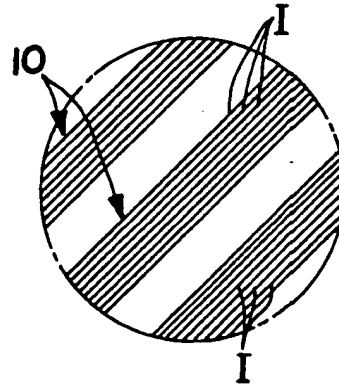


FIG.17

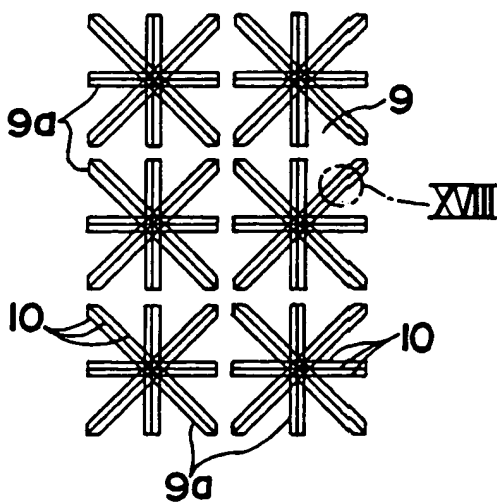


FIG.19

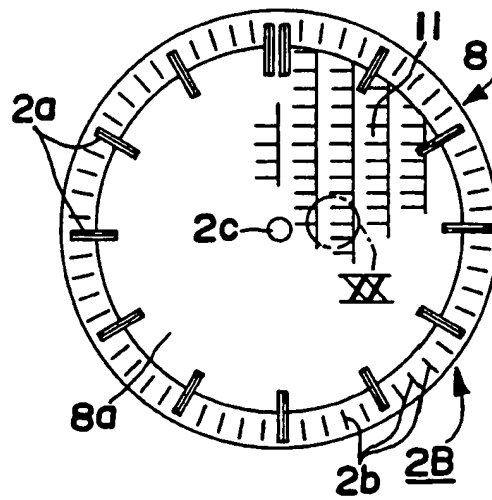


FIG.20

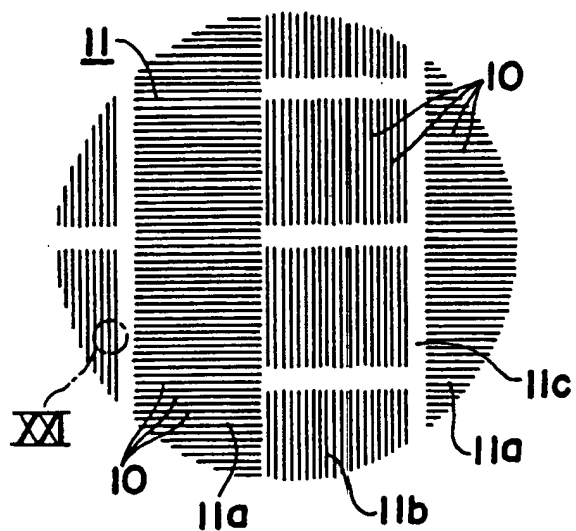


FIG.21

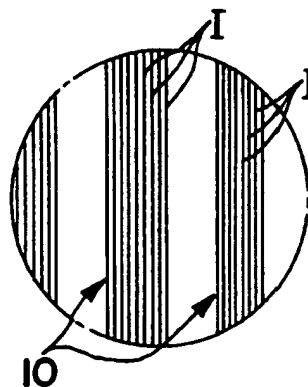


FIG.22

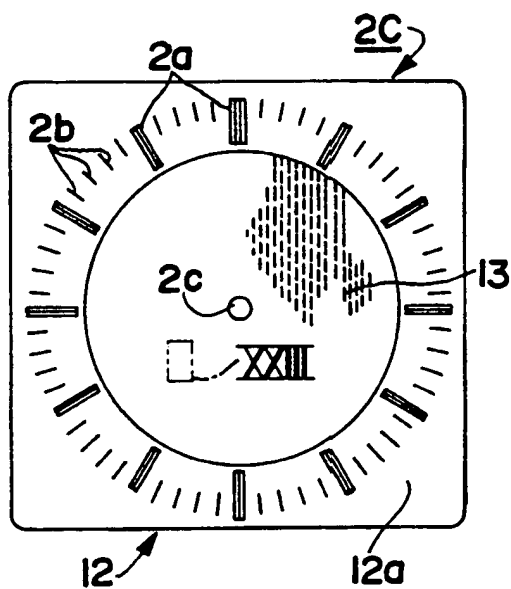


FIG.23

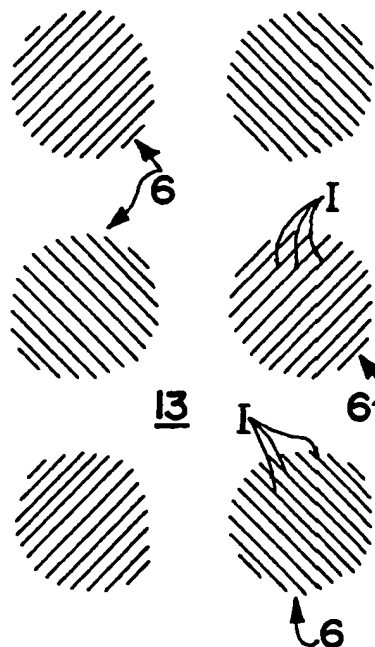


FIG.25

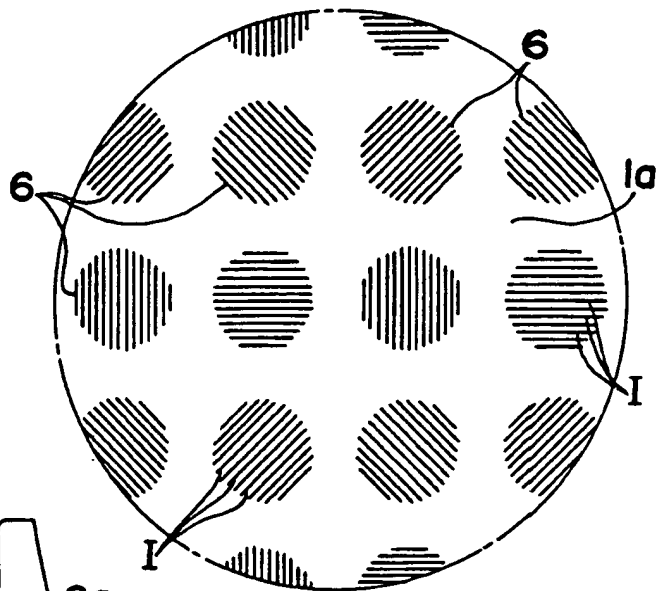


FIG.24

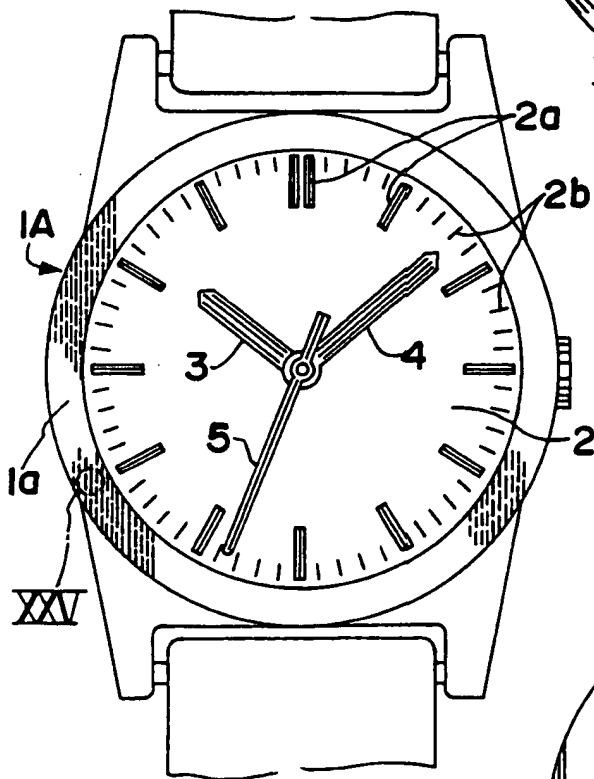


FIG.26

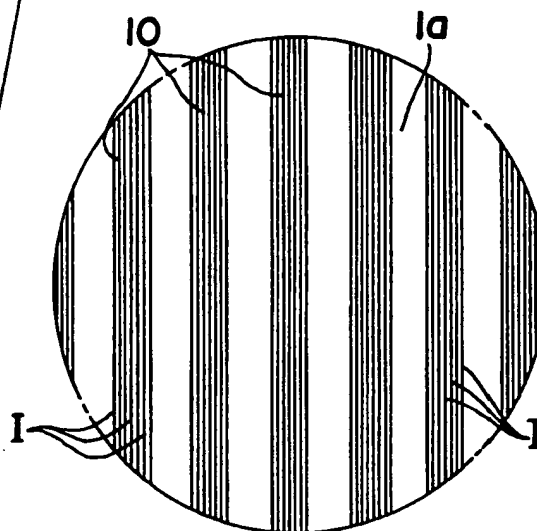


FIG 27(A)

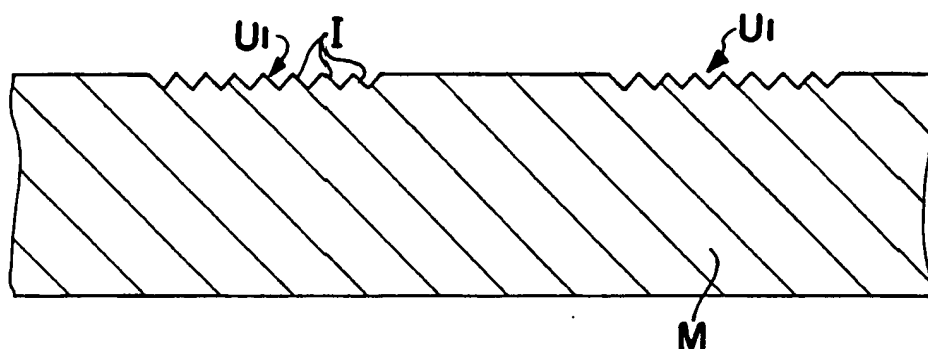


FIG 27(B)

